This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

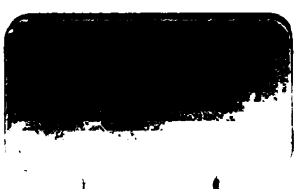
En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse `http://books.google.com`

Eng
778
63.5

GODFREY LOWELL CABOT SCIENCE LIBRARY
of the Harvard College Library

This book is
FRAGILE
and circulates only with permission.
Please handle with care
and consult a staff member
before photocopying.

Thanks for your help in preserving
Harvard's library collections.



Railroads

RAPPORT

SUR

LE PERCEMENT

DU

GRAND TUNNEL DES ALPES

PAR

M. CONTÉ,

INGÉNIEUR EN CHEF DES PONTS ET CHAUSSÉES.

Extrait des ANNALES DES PONTS ET CHAUSSÉES, 1er semestre 1863.

PARIS.

DUNOD, ÉDITEUR,

SUCCESSEUR DE Vve DALMONT,

Précédemment Carilian-Gœury et Victor Dalmont,

LIBRAIRE DES CORPS IMPÉRIAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES MINES,

Quai des Augustins, n° 49.

1863

to

RAPPORT

SUR

LE PERCEMENT

DU

GRAND TUNNEL DES ALPES.

Paris. — Imprimé par E. Thunot et Cᵉ, rue Racine, 26.

RAPPORT

SUR

LE PERCEMENT

DU

GRAND TUNNEL DES ALPES

PAR

M. CONTE,

INGÉNIEUR EN CHEF DES PONTS ET CHAUSSÉES.

Extrait des *Annales des ponts et chaussées*, 1er semestre 1863.

PARIS.

DUNOD, ÉDITEUR,

SUCCESSEUR DE Vve DALMONT,

Précédemment Carilian-Gœury et Victor Dalmont,

LIBRAIRE DES CORPS IMPÉRIAUX DES PONTS ET CHAUSSÉES ET DES MINES,

Quai des Augustins, n° 49.

1863

Eng 778.63.5

HARVARD COLLEGE LIBRARY
H. NELSON GAY
RISORGIMENTO COLLECTION
COOLIDGE FUND
1931

Extrait des *Annales des Ponts et Chaussées*, 1er semestre 1863.

RAPPORT

SUR

LE PERCEMENT

DU

GRAND TUNNEL DES ALPES.

Le grand tunnel des Alpes, entrepris en 1858 par le gouvernement sarde, est destiné à relier la France et l'Italie par une voie ferrée. Une convention entre ces États a réglé la part que le gouvernement français devait prendre à cette grande entreprise, par suite de l'annexion de la Savoie à la France. Une commission internationale a dû visiter récemment les travaux en cours d'exécution sur les deux versants des Alpes (*). Il a paru utile aux commissaires français que l'administration fût mise au courant de tous les faits se rattachant à ces travaux; en conséquence, M. l'inspecteur général Busche a bien voulu me charger de la rédaction du présent rapport.

(*) La commission était composée :

Pour la France, de MM. Busche, inspecteur général des ponts et chaussées, et Conte, ingénieur en chef du département de la Savoie.

Pour l'Italie, de MM. Grattoni, ingénieur, député au Parlement italien, et Sommeiller, ingénieur.

CHAPITRE PREMIER.

PARTIE HISTORIQUE.

Le gouvernement sarde s'est préoccupé depuis longtemps de la construction de ses chemins de fer. Il a toujours considéré comme très-important celui qui devait réunir la Savoie, l'une de ses provinces les plus considérables, à la capitale du royaume et qui devait en même temps mettre Turin en relations avec la France, la Suisse et les autres États de l'europe occidentale. Mais il existait entre la Savoie et le Piémont la grande barrière des Alpes qui paraissait infranchissable; on ne désespérait pas toutefois, et les meilleurs esprits s'occupaient de la solution de ce difficile problème.

Le choix de la direction générale de ce chemin de fer ne pouvait être douteux; il devait suivre la vallée de la Dora-Riparia, la vallée de l'Arc et celle de Chambéry, c'est-à-dire une ligne à peu près parallèle à la route de Paris à Turin par le mont Cenis; parce que le courant du trafic était déjà établi dans cette direction; parce que le gouvernement sarde était maître des deux versants des Alpes qui devaient être réunis par l'ouvrage le plus important et le plus difficile à construire. Aussi voit-on toutes les études, tous les vœux dirigés sur le chemin par la vallée de l'Arc, tandis que les lignes d'Italie concédées par la vallée de l'Ossola, le Simplon et la vallée du Rhône ont été l'objet d'une concession dont personne ne semble s'être préoccupé après qu'elle a été accordée (1) *.

Les vallées de l'Arc et de la Dora ont des directions à peu près parallèles; l'Arc coule de l'Est à l'Ouest et la Dora de

* Les chiffres entre parenthèses renvoient au numéro correspondant des Notes et documents.

l'Ouest à l'Est. Le massif qui les sépare a peu d'épaisseur. Il y a vingt-cinq ans, environ, M. Médail, originaire de la vallée de la Dora et qui avait eu l'occasion de parcourir fréquemment les deux vallées, avait signalé la direction de Bardonnèche à Fourneaux comme la plus favorable pour unir la Savoie au Piémont au moyen d'un tunnel de 13 kilomètres qui pourrait déboucher à peu près au même niveau dans les deux vallées.

Mais ce tunnel de 13 kilomètres était à ouvrir dans la roche dure et à 1 600 mètres en contre-bas du faîte de la montagne; il était impossible de percer des puits, et on devait se borner à une attaque à chaque tête. Les moyens ordinaires étaient inappliquables; car la génération qui aurait commencé le travail n'en aurait pas vu la fin, et les procédés d'aérage connus ne pouvaient suffire à entretenir de l'air respirable à une distance de 6 500 mètres.

Des projets furent présentés pour essayer de réduire la longueur de la galerie; de nombreux moyens furent proposés pour améliorer le travail de forage; ils furent écartés comme impossibles ou insuffisamment étudiés.

Le premier projet que l'administration des états sardes considéra comme sérieusement étudié, fut celui de M. Maus, ingénieur belge. M. Maus proposait de construire une galerie de 12 230 mètres de longueur, entre Modane et Bardonnèche, avec une pente unique de $0^{m},019$ par mètre. L'avancement en petite galerie aurait été fait au moyen d'une machine composée de ciseaux mis en mouvement par des ressorts et qui auraient découpé la roche en blocs adhérents seulement à l'arrière, lesquels auraient été détachés au moyen de coins. Les moteurs auraient été des roues hydrauliques qui auraient transmis le mouvement aux ressorts portant les ciseaux, au moyen de cordes et poulies.

On s'arrêta devant plusieurs objections sérieuses qui furent élevées contre le projet de M. Maus et qui peuvent se résumer ainsi : Le travail de la machine donnera-t-il une accélera-

tion notable sur les procédés ordinaires? L'aérage sera-t-il suffisant? Des cordes et des poulies pourront-elles transporter le mouvement aux ressorts à la distance de 6 kilomètres?

M. Colladon de Genève émit l'idée de faire agir les outils de la machine de M. Maus au moyen de l'air comprimé; mais il n'indiquait ni une manière spéciale de comprimer l'air ni le moyen de l'utiliser comme moteur.

Le gouvernement avait fait construire le chemin de fer de Turin à Gênes, et faisait étudier par ses ingénieurs les moyens de remorquer les trains sur les rampes de Ponte-Decimo à Busalla, dont l'inclinaison atteint $0^m,035$ par mètre. La ville de Gênes avait profité de l'ouverture du tunnel de Giovi qui débouche sur le versant nord de la vallée de la Scrivia, pour dériver les eaux de ce torrent et les employer à son alimentation. MM. les ingénieurs Grandis, Grattoni et Sommeiller eurent l'idée de se servir des chutes que présentait la conduite d'eau de la Scrivia pour comprimer de l'air au moyen du compresseur à choc qui est aujourd'hui en usage au souterrain des Alpes. Ils avaient le projet d'employer l'air comprimé à la traction des convois sur la rampe de Busalla.

M. Bartlett, ingénieur anglais, attaché à l'entreprise du chemin de fer Victor-Emmanuel, avait inventé un perforateur destiné à faire des trous de mines et qui était mis en mouvement par la vapeur. On eut l'idée de se servir de cette machine pour démontrer la possibilité de l'application de l'air comprimé et de résoudre par un fait pratique les principales objections que l'on pouvait faire à cette innovation. Pendant qu'on préparait ces expériences, M. Sommeiller eut le temps de construire une machine perforatrice, basée sur des principes différents, qui fut essayée concurremment avec la machine Bartlett; et c'est la perforatrice Sommeiller, modifiée et améliorée dans ses détails, qui travaille aujourd'hui au tunnel des Alpes.

Le problème parut dès lors résolu. MM. les ingénieurs Grandis, Grattoni, Sommeiller et Ranco se mirent à l'œuvre pour préparer le projet en cours d'exécution et le présentèrent au gouvernement avec confiance, après avoir reconnu : qu'ils pouvaient comprimer de l'air à une haute pression, qu'il pouvait être transmis à de grandes distances sans pertes sensibles, qu'il pouvait être employé à faire mouvoir la machine perforatrice destinée à produire des trous de mines et l'abatage des roches.

Une commission fut nommée pour examiner les projets présentés par les quatre ingénieurs prénommés; et cette commission reconnut que les machines qu'ils se proposaient de mettre en usage satisfaisaient aux conditions qu'on paraissait s'être posées pour entreprendre ce tunnel, savoir : aération de la galerie durant l'exécution et réduction notable dans le temps nécessaire à l'achèvement des travaux. Sur le vu du rapport de cette commission, un projet de loi fut présenté au parlement sarde, et la loi du 15 août 1857 autorisa le gouvernement à construire la section du chemin de fer Victor-Emmanuel comprise entre Suze et Modane, conformément au projet présenté par les ingénieurs Grandis, Grattoni, Sommeiller et Ranco.

Les trois premiers ingénieurs, propriétaires du brevet pour le compresseur à choc, sont chargés de la direction des travaux; et si le nom de M. Sommeiller revient plus souvent dans le courant de ce rapport que ceux de MM. Grandis et Grattoni, c'est qu'il est la partie la plus agissante de l'association formée entre eux, qu'il est seul propriétaire des brevets pour la perforation de la roche et le système des compresseurs à pompe, et qu'il a seul été chargé de l'étude et de la mise en œuvre de l'ensemble des machines qui fonctionnent au tunnel des Alpes.

CHAPITRE II.

TRACÉ ET DISPOSITIONS DU TUNNEL.

M. Médail avait indiqué la direction générale du tunnel entre Fourneaux et Bardonnèche (Pl. 37, *fig.* 1). M. Maus avait adopté cette direction générale, mais avait tracé sa ligne un peu plus à l'Est vers Modane. Les ingénieurs qui exécutent les travaux ont choisi dans leur tracé définitif la ligne la plus courte et celle qui leur a paru la plus facile à aborder et surtout à aligner de l'extérieur (2). Elle fait un angle de 19° avec le méridien terrestre et de 3° avec le méridien magnétique.

La nature des roches que doit traverser le tunnel a été déterminée par MM. Élie de Beaumont et Sismonda. Je dois à l'obligeance de M. Lachat, ingénieur des mines à Chambéry, un plan et une coupe minéralogiques (Pl. 38, *fig.* 1 et 2) ainsi qu'une note sur la nature de ces terrains (3).

Il résulte de cette note et des explications verbales que m'a données M. Lachat :

Que le terrain à anthracite, à l'entrée du côté de Fourneaux, présentera une longueur à traverser de 1 500 à 2 000 mètres.

Le terrain des quartzites, qui lui fait suite, sera traversé sur une longueur de 400 à 600 mètres.

Le terrain des calcaires massifs, sur une longueur de 2 000 à 3 000 mètres.

Enfin le terrain des calschistes, qui forme la base du système et constitue tout le versant italien de la montagne à perforer, sera traversé sur une longueur de 7 000 à 8 000 mètres.

En résumé :

Terrain à anthracite, à peu près	0.145	de la longueur totale.
Terrain des quartzites.	0.041	—
Terrain des calcaires massifs. .	0.204	—
Terrain des calschistes	0,612	—

Le tracé de la ligne sur le terrain (Pl. 37, *fig.* 1 et 2) a été fait avec toute la précision possible en établissant trois repères fixes, sur le même alignement, l'un sur le faîte de la montagne et les deux autres visibles de la station supérieure, sur les versants de l'Arc et de Rochemolle opposés à l'entrée du tunnel. Ces trois repères invariablement établis, on a cheminé dans leur direction de manière à fixer la position des têtes du tunnel ainsi que celle des deux observatoires placés en face desdites têtes et dans le prolongement des lignes de pente des deux galeries. Ces observatoires ont été établis solidement, de manière à permettre l'installation de lunettes fixes qui servent à tracer l'alignement du tunnel.

Des opérations de triangulation et de nivellement ont permis de relier les deux têtes du tunnel, de connaître la distance qui les sépare et leur différence de niveau. On a pu ainsi fixer la hauteur des points d'attaque et l'inclinaison des plates-formes qui doivent se rencontrer à peu près au milieu de la distance.

Le tunnel des Alpes doit se raccorder avec des abords dont la position sur le flanc très-abrupte de la montagne oblige à construire les deux extrémités en courbe. On comprend parfaitement qu'on ait négligé la construction de ces parties courbes pour établir de fausses têtes dans la direction de l'alignement général. Ces portions de galeries provisoires sont construites avec les mêmes soins que si elles devaient à jamais faire partie intégrante du travail.

	mètres.
La longueur entre les deux fausses têtes est de. . .	12 220.00
L'entrée du côté de la France est placée à la cote	1 202.82
Et du côté de l'Italie. . . . . à la cote	1 335.38
Différence.	132.56

Cette différence est rachetée :

Par une rampe de 0.0222 sur 6 110 mètres	135 64
Suivie d'une pente de 0.0005 sur 6 110 mètres.	3.06
Différence sensiblement égale à la précédente. .	132.58

En établissant une pente uniforme entre les deux têtes, l'inclinaison dans le tunnel aurait été réduite à 11 millimètres par mètre environ; mais une pareille disposition a paru impossible; car aux difficultés déjà si grandes de l'entreprise elle aurait ajouté l'obligation de construire des machines d'épuisement du côté de Bardonnèche. Il est évident, en outre, que la direction en sens inverse des deux plates-formes double les chances de rencontre des deux attaques et annule les erreurs qu'on aurait pu commettre dans les nivellements et les triangulations qui ont servi à mesurer les distances entre les têtes. Pourvu que les deux axes soient dans le même plan, ils finiront toujours par se rencontrer; peu importe que le croisement ait lieu à quelques mètres près.

La hauteur de la plate-forme, en dessous du point culminant de la montagne, sera de 1 617^{m},58. Au point d'avancement où se trouve aujourd'hui la galerie, du côté de la France (900 mètres), la plate-forme est placée à plus de 400 mètres en contre-bas de la montagne. Rencontrera-t-on à ces profondeurs des couches à la température de 50°, que semblerait annoncer une hauteur de calotte de 1 600 mètres? Je ne le pense pas, car le massif est entouré comme d'un hémisphère exposé au refroidissement par tous les points de sa circonférence. D'ailleurs la paroi de la galerie sera toujours exposée à un courant d'air comprimé qui, par sa détente, modifiera heureusement la température.

La section transversale du tunnel (Pl. 38, *fig.* 4 et 5) est limitée par une voûte en plein cintre de 4 mètres de rayon. La largeur à la naissance est donc de 8 mètres. Les pieds-droits sont une portion d'arc de cercle de 10^{m},10 de rayon;

leur hauteur est de 2 mètres et leur fruit total de $0^m,20$. Un trottoir en dalles de $0^m,70$ de largeur règne de chaque côté de la galerie. De sorte que la largeur du tunnel à la hauteur des rails sera la suivante :

	mèt.
Deux voies et les entre-voies.	6.20
Deux trottoirs de $0^m,70$.	1.40
	7.60

La galerie sera revêtue sur toute sa longueur d'une maçonnerie de blocs équarris de $0^m,80$ d'épaisseur. Dans les parties où les terrains paraissent présenter un peu moins de résistance que dans les roches dures et parfaitement saines, les pieds-droits sont réunis par un radier concave de $7^m,72$ de rayon. La hauteur de la clef sur les rails sera de 6 mètres.

Un aqueduc placé dans l'entre-voie servira à l'écoulement des eaux pendant et après la construction. Il me paraît mériter une mention spéciale. L'aqueduc colateur avait été projeté avec une largeur de $0^m,60$ et une hauteur de $0^m,40$. Il paraissait suffisant et a d'abord été construit avec ces dimensions. Pendant l'avancement en petite galerie, qui dépasse de 200 mètres environ l'achèvement du tunnel, on loge dans cet aqueduc les conduites d'air et de gaz, ainsi que le tuyau par lequel les pompes de la machine vont aspirer l'eau des puits que l'on ouvre par intervalle. Afin de laisser plus d'espace à l'aménagement de ces tuyaux, on a porté les dimensions de l'aqueduc à $1^m,20$ de largeur sur 1 mètre de hauteur. Un éboulement étant survenu le 15 septembre dernier, les ouvriers occupés à l'avancement en petite galerie, au nombre de soixante environ, se voyant ainsi séparés de l'ouverture du tunnel furent pris d'une terreur folle. Mais l'un d'eux pensa bientôt à l'aqueduc et tous y trouvèrent une issue, et cette issue fut régulièrement employée à déblayer l'éboulement par les deux extrémités. En présence d'un tel fait, on doit s'applaudir de l'idée qui

a fait agrandir cet aqueduc, puisqu'elle aurait sauvé la vie à soixante personnes si l'éboulement, d'ailleurs peu important, avait eu de plus fortes proportions. On verra plus tard que les services que cette issue est destinée à rendre ne se bornent pas à ceux que je viens de signaler.

CHAPITRE III.

APPAREILS DE COMPRESSION DE L'AIR.

En résolvant le problème de la compression de l'air, MM. Grandis, Grattoni et Sommeiller se sont proposés de se servir des puissantes chutes d'eau qui existent dans le voisinage des deux têtes du tunnel. Tout le travail se résume dans trois actes importants :

1° Comprimer de l'air à la pression effective de 5 atmosphères.

2° Le transmettre avec sa pression au fond de la galerie.

3° L'utiliser, suivant les besoins, soit au travail des machines, soit à l'aérage.

Je décrirai les travaux exécutés et les appareils employés. Je dirai ensuite de quelle manière ils sont appliqués à l'une et l'autre tête.

Les dessins qui accompagnent ce rapport sont des croquis relevés par M. Guinard, ingénieur des ponts et chaussées, soit directement sur les machines, soit sur les dessins d'exécution. Certains détails déjà connus tels que bielles, tuyaux, etc., ont été représentés par de simples lignes, ou même supprimés, afin de ne pas surcharger des dessins déjà très-compliqués. Ces croquis sont de simples représentations, destinées à faciliter l'intelligence des descriptions ; ils ne sont même pas cotés. Il est évident, en effet, qu'un travail complet, embrassant tous les points de détail de

cette grande entreprise ne peut être donné que par les habiles ingénieurs entre les mains desquels elle s'est organisée ; il leur est même naturellement réservé.

En même temps que ses dessins, M. Guinard m'a remis une note sur les faits observés par lui et dans laquelle j'ai puisé les principaux éléments de ce rapport.

Compression de l'air.

La compression de l'air s'opère au moyen de deux appareils distincts :

Le compresseur à choc ;

Le compresseur à pompes.

Compresseur à choc (Pl. 39, *fig.* 4). Un tube en forme de siphon renversé communique du côté de la grande branche avec un réservoir d'eau R placé à 26 mètres de hauteur au-dessus de la branche horizontale et du côté de la petite branche, avec un réservoir d'air R′ maintenu à une pression effective de 5 atmosphères.

En A, se trouve une soupape destinée à fermer la grande branche lorsqu'on veut intercepter la communication qu'elle établit avec le réservoir R.

En B, une seconde soupape s'ouvrant vers l'air libre.

En C, une soupape destinée à établir ou intercepter la communication de la petite branche avec l'air comprimé renfermé dans le réservoir R′.

Enfin en D, une quatrième soupape s'ouvrant de manière à laisser pénétrer l'air atmosphérique dans la petite branche lorsqu'elle se vide.

Le réservoir R′ est maintenu à une pression constante de 5 atmosphères par une colonne d'eau, dite manomètre, alimentée par un petit réservoir M entretenu à un niveau constant de 50 mètres au-dessus de l'appareil.

Supposons que la soupape A soit fermée et qu'on ouvre la soupape B. La pression de 5 atmosphères du réservoir maintiendra la soupape C fermée. La soupape D s'ouvrira pour donner passage à l'air atmosphérique qui remplira la petite branche du siphon jusqu'au niveau NN, pendant que l'eau s'écoulera par la soupape B. Il restera dans la partie inférieure de l'appareil un matelas d'eau jusqu'au niveau NN.

Si l'on ferme la soupape B (Pl. 39, *fig.* 5) et que la soupape A soit ouverte en même temps, la colonne d'eau AR se mettra en mouvement, refoulera le coussin d'eau qui était resté dans la branche horizontale, comprimera l'air contenu dans la petite branche et fermera par cela même la soupape D. L'air comprimé ouvrira la soupape C et pénétrera dans le réservoir R', dès qu'il aura dépassé la pression de 5 atmosphères.

Quand tout l'air sera entré dans le réservoir, on fermera la soupape A, la colonne d'eau sera arrêtée, et on ouvrira la soupape B. La soupape C se fermera d'elle-même sous la pression intérieure du réservoir R' et l'eau s'écoulera en B, en laissant pénétrer l'air extérieur par la soupape D. On pourra de nouveau, par un jeu inverse des soupapes, faire entrer dans le réservoir R' un nouveau volume d'air comprimé.

On voit que l'action essentielle de l'eau dans la machine consiste dans la vitesse qu'elle prend dans le tube de descente en vertu de la hauteur AR. C'est cette vitesse qui lui permet de donner le coup de bélier en vertu duquel elle porte la pression de l'air renfermé dans la partie NC du tube à 5 atmosphères effectives, tandis qu'une pression statique de 2,5 atmosphères suffirait pour faire équilibre à la hauteur d'eau de 25 mètres qui forme la hauteur AR.

Ceci posé, si on veut se reporter au dessin détaillé de l'appareil (Pl. 38, *fig.* 6), on retrouvera les soupapes A, B, C, D des croquis théoriques, disposées dans le tube en siphon renversé.

La soupape A, dite soupape d'admission, est placée dans un renflement du tube. Elle est formée d'un cylindre en laiton qui peut se mouvoir dans une chapelle ou enveloppe cylindrique percée de larges fenêtres, FF, et que la soupape est destinée à masquer et démasquer alternativement. Des rayons placés à la partie inférieure rattachent le cylindre à la tige centrale destinée à le mener dans son mouvement. A la partie supérieure, il est surmonté d'une sorte de surface conique qui conduit les eaux sans remou par les fenêtres FF, lorsque la soupape est ouverte, position dans laquelle elle est représentée sur le dessin. La soupape repose sur un siége surmonté de guides et fortement relié à la paroi du tube. Ce siége reçoit sur des surfaces en caoutchouc le choc du cylindre de la soupape de façon à amortir le coup très-violent qu'elle donne lorsqu'elle tombe brusquement. Pour faire suite aux fenêtres, la chapelle et le siége sur lequel repose la soupape, sont entourés d'un espace annulaire destiné à recevoir l'eau en mouvement, suivant la direction des flèches marquées sur le dessin. La surface conique qui dirige les eaux sur les fenêtres n'est pas attachée au cylindre de la soupape ; mais elle est reliée au siége par des tiges qui traversent les rayons inférieurs de la soupape. Il résulte de cette disposition que cette surface conique est fixe et n'agit que lorsque les fenêtres sont ouvertes. Le cylindre de la soupape et le siége sont constamment baignés dans une sorte de coussin d'eau, et cette disposition est nécessaire pour qu'en se relevant pour fermer les fenêtres la soupape n'ait pas à soulever le poids d'une colonne d'eau de 25 mètres de hauteur.

Le coup frappé par la soupape A sur le siége qui la supporte est très-violent, parce qu'elle doit s'ouvrir très-vite afin que la colonne d'eau qui la surmonte puisse prendre instantanément toute sa vitesse. Bien que le poids du cylindre de la soupape soit très-considérable, on a surmonté la tige qui le mène d'un piston P qui glisse dans un corps

de pompe où est introduit de l'air comprimé. La pression de 5 atmosphères s'exerce sur la surface du piston et vient en aide au poids de la soupape pour accélérer sa chute.

Le jeu de cette soupape n'a rien de délicat. Elle fonctionne bien, même avec des eaux qui ne sont pas parfaitement claires. Il n'en serait pas de même si des matières résistantes, telles que racines ou menues branches d'arbre, étaient entraînées par l'eau, s'engageaient dans les fenêtres et gênaient le jeu de la soupape. La colonne d'eau ne prendrait pas alors une vitesse suffisante pour que le coup de bélier qu'elle doit donner pût comprimer l'air jusqu'à la pression qu'il doit acquérir pour passer dans le réservoir. Cet air se détendrait et refoulerait l'eau dans le tube, d'où il résulterait des trépidations qui occasionneraient infailliblement des ruptures.

La soupape B, dite de vidange, est construite d'après le même principe que la soupape d'admission. On y retrouve le cylindre de laiton, la chapelle percée des ouvertures FF et la tige centrale adaptée à la partie supérieure du cylindre et donnant le mouvement de haut en bas.

La soupape C dite de refoulement de l'air, est un disque plein en cuivre, reposant sur une gorge parfaitement alésée. Ce disque est susceptible d'être soulevé de bas en haut et guidé dans ce mouvement par un fourreau cylindrique percé de fenêtres. La soupape C est placée à une hauteur telle qu'au moment où la force vive de la colonne d'eau est annulée, elle soit atteinte par la surface de l'eau. On s'est même arrangé pour qu'elle soit un peu dépassée et qu'il entre un peu d'eau dans le tube *t*. Cette position a été d'abord déterminée par le calcul et fixée pratiquement par l'expérience en allongeant le tube successivement (4).

La soupape D dite d'admission de l'air extérieur, est un simple clapet s'ouvrant de l'extérieur à l'intérieur. Elle avait d'abord été placée en O ; mais la soupape de vidange B étant ouverte après la compression de l'air, il se formait

à la partie supérieure du tube un vide qui ralentissait l'écoulement de l'eau jusqu'à ce que la surface supérieure du liquide eût atteint le point O. On a alors adapté à cet orifice un tuyau qui reporte le clapet à la partie supérieure du tube, immédiatement en dessous de la soupape C.

Le réservoir d'air comprimé R′ est un cylindre en fer terminé par des fonds hémisphériques. A la partie inférieure débouche le tube manométrique M qui correspond à la colonne d'eau de 50 mètres et qu'on peut fermer au moyen d'un robinet vanne, mais qui reste toujours ouvert pendant la marche. Au-dessus du réservoir se trouve un petit dôme dans lequel débouche le tube d'arrivée de l'air t ainsi que la tubulure de prise d'air. Le tube d'arrivée de l'air est fermé par un clapet de précaution destiné à empêcher, en cas d'accident, le retour de la masse d'air du réservoir.

La mise en marche de la machine est dès lors très-facile à comprendre : En NN, est une machine aéromobile qui met en jeu un arbre S sur lequel sont montées des cames qui, à l'aide de leviers, mènent les tiges des soupapes A et B dans l'ordre indiqué ci-dessus.

Supposons qu'on veuille mettre l'appareil en marche ; on n'a d'air comprimé nulle part et il en faut pour mettre en jeu la machine N qui mène les soupapes et presser sur le piston P qui précipite la chute de la soupape A. Le réservoir R′ est plein d'air à la pression atmosphérique.

On ouvre le robinet du tube manométrique. L'eau du petit réservoir placé à 50 mètres de hauteur s'élance dans le réservoir d'air R′, jusqu'à ce que la pression de l'air renfermée dans ce réservoir fasse équilibre à la colonne d'eau. L'air primitivement contenu dans le réservoir se réduit donc au sixième de son volume et prend une pression de 5 atmosphères effectives. Le réservoir manométrique est alimenté par une source, et sa superficie est assez grande pour que son niveau ne soit pas sensiblement abaissé par l'emprunt qui

peut lui être fait successivement par chacun des compresseurs.

On se sert de cet air comprimé pour faire mouvoir la machine aéromobile qui mène les cames. Le compresseur entre aussitôt en action et refoule de l'air en grande quantité dans le réservoir R'. L'eau qui était passée du bassin manométrique dans le réservoir est à son tour refoulée dans ledit bassin qui est maintenu à une hauteur constante par un déversoir.

Un tube de niveau placé contre le réservoir R' permet de suivre la hauteur de l'eau manométrique dans l'intérieur ; et dès que le réservoir est plein, on arrête la machine, si l'air comprimé n'est pas dépensé au fur et à mesure.

Dans la description théorique du compresseur, il a été question d'un coussin d'eau laissé à la partie inférieure du tube par le jeu des soupapes. Cette disposition est absolument nécessaire ; car si le tube se vidait complétement, l'eau de la colonne de chute y arriverait tumultueusement. Le coussin d'eau servant d'intermédiaire amortit les mouvements de l'eau et l'ascension de la colonne dans la petite branche du siphon s'accomplit avec une parfaite régularité. La soupape C est soulevée régulièrement et la petite quantité d'eau qui la franchit est recueillie dans un tube Q où elle s'accumule. Ce tube est vidé lorsque le niveau marqué par l'indicateur est suffisamment élevé.

Le tube du compresseur ayant $0^{m}.62$ de diamètre et la chambre d'air $4^{m}.05$ de hauteur, l'air comprimé par chaque coup de bélier présente un volume de $1^{mc}.223$.

La marche actuelle des compresseurs est de 3 coups par minutes, ce qui donne par jour 5283 mètres cubes d'air comprimé sous un volume de 880.50 mètres cubes et pour les dix compresseurs qui existent de chaque côté, 52 830 mètres cubes comprimés sous un volume de 8,805 mètres cubes.

La marche à trois coups est lente et sûre ; elle peut, sans

qu'on puisse concevoir le moindre doute ou la moindre crainte, être portée à 4 coups, ce qui donnera pour les dix compresseurs, par 24 heures, 70 445 mètres cubes comprimés sous un volume de 11 740 mètres cubes.

Compresseur à pompe ou à action directe. — Un tube recourbé (Pl. 39, *fig.* 6), à deux branches égales, est muni, à la partie supérieure des branches verticales, des soupapes AA', BB', les premières s'ouvrant de l'air extérieur dans le tube, et les secondes du tube dans le réservoir R' d'air comprimé. Dans la branche horizontale du tube, se meut un piston qui oscille entre les points D et D'. Des deux côtés, ce piston est baigné par une colonne d'eau qui remplit à moitié les deux tubes verticaux, lorsqu'il occupe sa position médiane.

Supposons que le piston va vers le point D : le niveau de l'eau dans la colonne de droite descendra jusqu'en D'. La soupape A' sera ouverte et remplira le tube d'air atmosphérique jusqu'au niveau D'. La soupape B' sera fermée par la pression du réservoir d'air comprimé. Le piston revenant vers D', la soupape A sera ouverte et la soupape B fermée dans le tube de gauche. Dans le tube de droite, l'air sera comprimé par l'eau dont le niveau s'exhaussera, la soupape A' sera fermée et la soupape B' sera ouverte pour donner passage à l'air comprimé qui se rendra dans le réservoir R'.

En un mot, dans son mouvement de haut en bas, la colonne d'eau appelle successivement l'air atmosphérique par les soupapes A et A' et dans son mouvement de bas en haut, elle comprime l'air et le refoule dans le réservoir R', aussitôt que les soupapes B et B' peuvent être soulevées.

Les dessins de l'appareil rendent parfaitement compte des dispositions adoptées (Pl. 40).

Le piston P (*fig.* 1) est mené par une tige PM mise en mouvement par une bielle qui reçoit le sien d'une roue hydraulique.

La soupape A d'admission de l'air atmosphérique est formée d'un disque plein reposant sur une gorge et maintenue dans son mouvement par une tige traversant des guides. Cette tige est tirée de bas en haut par un contre-poids qui sollicite constamment sa fermeture. L'orifice de la soupape est noyée dans une cuvette C constamment remplie d'eau. La partie supérieure, pendant la marche, est baignée d'une couche d'eau de 2 centimètres, qui provient d'un tuyau qui débouche dans l'espace E et qui filtre à travers une toile métallique placée en T. La petite couche d'eau qui baigne la partie supérieure de la soupape est introduite à chaque coup de piston dans le corps de pompe et remplace l'eau qui est refoulée chaque fois avec l'air, en dépassant légèrement la soupape B, afin d'être assuré que tout l'air contenu dans le tube est entièrement refoulé dans la conduite R.

La soupape de refoulement de l'air B est un simple disque reposant sur une gorge bien alésée. La quantité dont elle peut se soulever est réglée par un appendice placé au-dessus du centre dans la partie inférieure de la pièce qui ferme l'espace E.

La *fig.* 2, Pl. 40, représente deux compresseurs vus latéralement et une coupe du purgeur qui leur est commun. Afin d'assurer la compression de tout le volume d'air renfermé dans le corps de pompe, on a vu que la colonne d'eau dépasse légèrement la soupape B et qu'une petite quantité d'eau est refoulée avec l'air. Il faut purger l'air de ce volume d'eau relativement plus considérable que celui qui passe dans le compresseur à choc, à cause du faible volume comprimé à chaque coup de piston par le compresseur à pompe.

Le purgeur est formé d'un cylindre en fonte dans lequel l'air est introduit par les tuyaux R en sortant du compresseur. L'eau entraînée par l'air se dépose nécessairement dans le cylindre et l'air se rend dans le réservoir par le tuyau qui débouche en Q. Un flotteur en cuivre mène une soupape placée en S. Dès que l'eau s'accumule dans l'espace

compris entre le flotteur et le tube qui le contient, la soupape est ouverte par le flotteur et l'eau s'écoule par le tube de fuite F, jusqu'à ce que le flotteur soit retombé sur son gîte, et qu'il soit venu fermer naturellement la soupape.

A la partie supérieure de l'appareil se trouve un réservoir H qui alimente les soupapes A des compresseurs, de la petite couche d'eau de 2 centimètres dont il a été question. L'inclinaison et les sections des tuyaux de conduite, le tuyau de trop-plein P, la surface de la toile métallique qui laisse passer l'eau, ont été réglés de manière à épancher sur la soupape A le volume d'eau qui est nécessaire. Le réservoir H est alimenté par le tuyau D.

Les trois figures du compresseur à pompes (Pl. 40) sont très-complètes et suppléeront parfaitement à ce que les explications précédentes peuvent avoir d'insuffisant.

Le piston fait huit oscillations par minute. Sa course est de $1^{m}.20$ et le diamètre du corps de pompe de $0^{m}.57$. Comme la machine est à double effet, le volume comprimé par chaque oscillation est de $0^{mc}.61$ par oscillation, soit par minute $4^{mc}.88$ et par vingt-quatre heures 7027, c'est-à-dire à peu près autant que les compresseurs à choc marchant à quatre coups par minute.

Six compresseurs à pompe pourront donc comprimer par vingt-quatre heures 42 162 mètres cubes d'air, sous un volume réduit à 7 027 mètres cubes (4).

Application des appareils (Italie. — Bardonnèche). — A Bardonnèche on a installé des compresseurs à choc. Les ateliers qui les renferment sont placés à 1 000 mètres environ de l'entrée du tunnel.

Les réservoirs d'eau sont alimentés au moyen d'un canal dérivé du torrent de Mélézet dont les eaux sont abondantes et offrent une température assez élevée pour être à l'abri de la gelée. La dérivation a 3 kilomètres de longueur et une portée de 1 500 litres par seconde; elle est couverte sur tout son parcours. Les eaux traversent des bassins

d'épuration avant d'être conduites dans un premier réservoir dont le niveau est situé à 45 mètres au-dessus des soupapes de vidange des compresseurs. Elles se rendent, sans produire de travail, dans les réservoirs inférieurs placés à 25 mètres au-dessus des vidanges. On a donc ainsi en réserve une force considérable qui sera utilisée plus tard, probablement pour faire marcher des compresseurs à pompes dont on préparait l'emplacement au moment de la visite faite par la commission internationale à Bardonnèche (5).

France. — Fourneaux. — A Fourneaux, on emploie les compresseurs à choc concurremment avec les compresseurs à pompe (Pl. 38, *fig.* 3).

La disposition des lieux n'était pas la même qu'à Bardonnèche, où l'on se trouvait au confluent de trois vallées; les torrents du Charmet et du Grand-Vallon ne fournissaient pas une quantité d'eau suffisante à l'action des compresseurs. Heureusement, l'Arc roulant une masse d'eau considérable sous une forte pente, pouvait fournir une force presque illimitée. On a dérivé 6 mètres cubes par seconde, et au moyen d'une chute de $5^{m}.60$, on met en mouvement les roues hydrauliques qui élèvent l'eau, par l'intermédiaire de pompes, dans les réservoirs placés à 25 mètres au-dessus des soupapes de vidange des compresseurs (6). Les roues hydrauliques font également mouvoir les compresseurs à pompe.

Cette manière d'élever l'eau pour la faire retomber après l'avoir élevée peut paraître vicieuse en présence des compresseurs à pompe, il est donc nécessaire de l'expliquer.

Au moment où l'on commença l'installation des ateliers de Fourneaux, les compresseurs à choc avaient déjà été établis à Bardonnèche, où ils donnaient de très-bons résultats. On ne connaissait pas de pompes capables de comprimer de l'air en grandes masses et à d'aussi hautes pressions que celle qui était nécessaire.

On était pressé par le temps, on ne voulait pas attendre le résultat, encore incertain, de l'étude d'un compresseur

direct. On résolut d'appliquer le système dont on était sûr, et l'on fit construire sur les modèles de Bardonnèche, qui étaient tout prêts, des compresseurs à choc, sauf à les alimenter au moyen de l'eau qu'on élèverait à l'aide de pompes. On hésita d'autant moins à prendre ce parti que l'Arc fournissait une force surabondante qu'il était inutile de ménager.

Pendant que M. Sommeiller faisait monter les compresseurs à choc, il étudia le système de pompes qui a été décrit ci-dessus et acheva le projet assez à temps pour que la moitié de la force fournie par les roues hydrauliques, et qui devait être employée en entier aux pompes élévatoires, pût être réservée aux nouveaux compresseurs.

On mit donc côte à côte à Modane, ou plutôt à Fourneaux, le système des compresseurs à choc qui n'y a été employé que comme pis-aller, et celui des compresseurs à pompe, que sa simplicité et son économie semblent destiner à être exclusivement employé dans des travaux de ce genre.

CHAPITRE IV.

TRANSMISSION DE L'AIR AU FOND DE LA GALERIE.

L'air comprimé est emmagasiné, de chaque côté des attaques, dans dix réservoirs en fer de 17 mètres de capacité chaque, ce qui donne une réserve de 170 mètres cubes à la pression de six atmosphères ou de 1020 mètres cubes à la pression atmosphérique.

La transmission a lieu au moyen d'une conduite formée de tubes en fonte de $0^m.20$ de diamètre, assemblés bout à bout et portés sur des rouleaux également en fonte, qui reposent sur des piliers en maçonnerie.

L'assemblage se fait en interposant entre deux tuyaux successifs une rondelle en caoutchouc qui a la forme d'une cordelette de $0^m.01$ de diamètre, et qui se loge dans une gorge tournée dans les joues d'assemblage dont sont munis

les tubes. On serre ensuite fortement les joues au moyen de boulons. Ce joint se fait et se défait en quelques instants et donne d'excellents résultats. Il reste incertain, toutefois, de savoir si le caoutchouc conservera longtemps ses qualités d'élasticité et si l'étanchéité du joint sera toujours complète. Si cela n'était pas, on en serait quitte pour le renouveler, ce qui serait une opération peu coûteuse et de peu de durée. On établira d'ailleurs deux conduites côte à côte ; il n'y a donc pas à craindre d'interruption dans le service.

En l'état actuel, les conduites, fermées et mises en pression pendant douze heures, ne perdent pas au delà de 0,2 d'atmosphère ; et pendant l'écoulement de l'air, la perte de charge entre l'origine et la fin de la conduite atteint à peine 0,1 d'atmosphère.

La conduite ayant une longueur considérable, les variations de température produisent sur elle beaucoup d'effet. Afin d'éviter que les dilatations et les contractions qui se manifestent dans des limites d'amplitude assez considérables ne puissent produire la rupture ou la dislocation des joints, on a fixé la conduite, invariablement, de distance en distance, par des ancres d'arrêt qui viennent saisir les joues des tubes et vont se noyer dans les massifs en maçonnerie construits entre deux piliers successifs (Pl. 39, *fig.* 7).

Les dilatations et les retraits entre les points fixes sont transmis à l'aide de rouleaux (Pl. 39, *fig.* 8) jusqu'à un joint de dilatation qui a la forme indiquée (Pl. 39, *fig.* 11). Le bout mâle A du raccordement est simplement le prolongement bien dressé du corps du tuyau. Le bout femelle B est composé d'un renflement de plus grand diamètre terminé par une joue. Sur cette joue est fixé, à l'aide d'une rondelle métallique, un cuir C embouti que la pression maintient fortement serré sur le bout mâle, mais qui peut laisser glisser ce tuyau et permettre les mouvements longitudinaux.

On a laissé subsister sur chaque tuyau un bouton de fonte au point par où a eu lieu la coulée dans le moule. Ce bouton contient assez de matière pour qu'on puisse le percer en cas de besoin, le tarauder et établir une prise d'air sur un point quelconque de la conduite.

Dans le tunnel, la conduite, au lieu d'être supportée par des piliers, est suspendue sur des consoles de fer. On conçoit en effet que les tubes sont à peu près à l'abri des variations de température, et que toutes les précautions ci-dessus relatées deviennent inutiles, lorsque la conduite est engagée sous le tunnel.

L'air est ainsi amené jusqu'à peu de distance du front d'attaque. La conduite en fonte s'arrête, se recourbe et vient se loger dans une niche pratiquée sur le côté.

C'est là que s'adaptent les tubes mobiles qui distribuent l'air dans les divers organes de la machine et le déversent dans la galerie pour l'aérage et les chasses à pratiquer après les explosions. Les tubes mobiles sont en caoutchouc, de divers diamètres et de diverses épaisseurs. Ils sont revêtus d'une chemise de forte toile qui leur permet de résister à la pression intérieure qu'ils subissent. Dès que ces tubes, par suite de l'avancement journalier, se sont déroulés sur une longueur assez grande et deviennent embarrassants, on prolonge la conduite en fonte et l'on reporte les conduites mobiles à l'extrémité nouvelle.

L'air des compresseurs est très-pur. Il n'a pas cette odeur d'acides gras, si désagréable, de l'air comprimé dans les pompes ordinaires, parce qu'il n'a presque toujours été en contact qu'avec des coussins d'eau. Il est inutile de dire qu'il est très-frais, puisque se détendant de la pression de 5 atmosphères, il emprunte une grande quantité de chaleur aux corps environnants.

CHAPITRE V.

ATTAQUE DE LA ROCHE.

§ 1er. *Machine perforatrice.*

Chaque machine perforatrice ne fait mouvoir qu'un seul burin. Elle a son alimentation spéciale et agit avec une complète indépendance.

Le but atteint par M. Sommeiller dans l'agencement de cette machine est le suivant :

1° Faire donner à un burin, ou barre à mines, des coups très-rapides et très-violents sur la roche ;

2° Communiquer automatiquement à ce burin le mouvement de rotation sur lui-même qui lui est indispensable pour qu'il ne s'engage pas dans le trou qu'il a creusé ;

3° Le faire avancer, encore automatiquement, au fur et à mesure que le trou s'approfondit, sans rompre la marche ;

4° Le faire reculer rapidement pour le changer en cas de besoin.

Le croquis (*fig.* 1, Pl. 39) est une coupe longitudinale qui représente les organes essentiels de l'appareil. Il suffira pour en faire comprendre la marche.

La partie élémentaire de la perforatrice se compose d'un tube TT d'amenée d'air comprimé, qui alimente un corps de pompe dans lequel oscille un piston plein P qui mène l'outil au moyen d'un porte-outil KM et lui fait donner le coup. Ce corps de pompe est monté sur deux glissières qui embrassent deux longerons LL qui forment le bâti de l'appareil et supportent le porte-outil dans un collier M. Dans son mouvement de déplacement, le corps de pompe entraîne le groupe d'organes qui l'entoure, désigné par les lettres C, I, E, H, R, F, F', U, qui a pour but de communiquer au piston et à l'outil qui le prolonge le mouvement d'avancement ou de

recul, de rotation sur lui-même, et de donner son jeu au tiroir.

Tout ce groupe d'organes est mis en mouvement par diverses roues montées sur une tige quarrée AA, sur laquelle elles peuvent glisser comme le feraient des bagues, et suivre par conséquent le mouvement en avant du corps de pompe, tout en étant entraînées par le mouvement de rotation de la tige A. Cette tige A, dont le rôle régulateur vient d'être indiqué, est mise en mouvement par une machine aéromobile X analogue à une machine à vapeur, à double effet, très-régulière d'allures et fixée à l'arrière des longerons LL.

Il était impossible, en effet, de faire mener le tiroir du corps de pompe de l'outil et les mouvements secondaires par le piston P lui-même, comme cela a lieu dans les machines à vapeur, parce que ce piston doit pouvoir prendre dans son corps de pompe un mouvement irrégulier et suivre ainsi les accidents si divers du choc du burin, sans nuire à la régularité de la marche de la machine.

Mouvement de choc de l'outil. — Le piston P se meut à frottement dans le corps de pompe entre les points SS′ et à fourreau sur une tige quarrée BB, dont l'usage nous sera révélé ultérieurement. Il est pressé d'un côté sur la surface SS, qui entoure la tige carrée B, et de l'autre sur la surface annulaire S′S′, qui entoure le prolongement du piston. Il est inutile de faire remarquer que la surface SS est beaucoup plus grande que la surface S′S′.

La surface SS est mise en communication alternative avec l'air atmosphérique, lorsque les ouvertures O′O′ coïncident, et avec l'air comprimé à cinq atmosphères que renferme la boite du tiroir, lorsque les ouvertures OO coïncident.

La surface S′S′ est constamment en communication avec l'air comprimé de la boîte du tiroir par l'ouverture O″.

Lorsque les ouvertures OO sont en regard, le piston est lancé en avant, en vertu de la différence des pressions exer-

ées sur les surfaces inégales SS et S'S'. Lorsque les orifices O'O' sont en regard, l'air qui pressait sur la surface SS est en communication avec l'air libre et le piston est ramené en arrière en vertu de la différence des pressions de l'air comprimé qui agit sur la surface S' et de l'air détendu qui presse sur la surface S.

La position de l'orifice O'O' d'échappement est telle que, dans son mouvement de retour, le piston ne tarde pas à la masquer. On emprisonne ainsi un matelas d'air destiné à amortir le choc du piston sur le fond du corps de pompe et à régulariser sa course. De même l'orifice O'' est placé de manière que s'il était dépassé, un petit matelas d'air serait emprisonné entre la tête du piston et le fond du corps de pompe de manière à empêcher un choc.

Il suffit donc pour faire mouvoir le piston de donner le mouvement au tiroir, de façon à masquer et démasquer brusquement les orifices O et O'.

Le tiroir est attaché à une tige T qui traverse la paroi de la boîte et vient aboutir à l'air libre. La tige est donc sollicitée en dehors de la boîte par la pression intérieure de 5 atmosphères. Elle est contrariée dans cette tendance à sortir de la boîte par une came C, sorte de cylindre tronqué monté sur l'arbre quarré A et qui participe à son mouvement circulaire. Dans la position représentée sur le dessin, la tige est complétement refoulée dans la boîte du tiroir ; la came C faisant une demi-révolution sur elle-même, la tige sortira autant que possible, et dans son mouvement fera coïncider les ouvertures OO. L'organe C est donc destiné à repousser plus ou moins dans l'intérieur de la boîte la tige T qui mène le tiroir et à donner à celui-ci le mouvement qu'il doit avoir.

On voit d'après cela que le piston jouit dans son corps de pompe d'une grande liberté d'allures ; il peut à chaque coup ressauter et avancer suivant le travail de l'outil. Il avance sans inconvénients jusqu'au moment où il serait près de fer-

mer l'orifice O'; auquel cas le mouvement de retour ne pourrait plus avoir lieu, la surface S'S' ne recevant plus de pression. Mais lorsque cet effet est sur le point de se produire, le corps de pompe avance de lui-même et se rétablit dans une position médiane en glissant sur le piston.

Mouvement d'avancement du corps de pompe. — A cet effet, la tige du porte-outil KM est munie d'un bourrelet K qui s'approche du bouton U' et finit par l'atteindre dans le mouvement d'avancement auquel le piston est sollicité. Ce bourrelet force le ressort N et détache la tige UU de la dent D d'une crémaillère établie sur les longerons du bâti. Aussitôt le ressort à boudin J pousse en avant la tige UU qui entraîne dans son mouvement l'embrayage E qu'elle fait avancer au moyen d'une fourchette glissant dans une gorge. Cet embrayage monté sur l'arbre B qui a un mouvement de rotation, saisit la roue H qui était folle sur l'arbre B. La roue H porte un tronçon d'écrou qui engrène sur un pas fileté sur les faces intérieures des longerons. Dans son mouvement, elle pousse tout le système en avant.

Dès que le mouvement a commencé, le bourrelet K cesse de battre le bouton U' et tout le système avance, jusqu'à ce que la tige U rencontre une nouvelle dent de la crémaillère qui l'arrête et refoule le ressort à boudin qui désembraye le manchon E. La roue H redevenant folle sur son arbre, cesse de tourner et le système s'arrête.

Toute cette série de mouvements recommencera dès que l'outil aura avancé dans la roche d'une quantité égale à la distance qui sépare deux dents de la crémaillère, soit de $0^m.04$.

Mouvement de rotation de l'outil sur lui-même. — Le mouvement de rotation de l'outil sur lui-même est donné par la tige quarrée B qui entre à fourreau dans le piston P et qui le fait tourner sur lui-même dans son corps de pompe. Le mouvement est donné à la tige B par la tige A. En I est un excentrique qui se meut dans un anneau qui porte un doigt. Ce

doigt est serré entre un arrêt et un ressort qui l'empêchent de suivre l'excentrique dans son mouvement circulaire et le forcent à s'élever et s'abaisser à chaque tour de l'excentrique. En descendant, le doigt repousse une roue de rochet R munie d'un déclic pour assurer son mouvement et la force d'avancer d'une dent. L'arbre B tourne donc dans le même sens que l'arbre A d'une dent de la roue; après chaque tour de l'arbre A et comme la roue R a 16 dents, il faut 16 tours de l'arbre A soit 16 coups de burrin, pour que l'outil ait fait un tour sur lui-même (7).

Mouvement de recul de l'outil. — Lorsqu'un outil doit être changé de place, pour ramener l'appareil rapidement en arrière, on ne peut se contenter d'inverser le mouvement relativement très-lent de l'arbre B. Cet arbre porte une roue F. L'arbre A porte une roue F″ qu'on amène à la main en face de la roue F. Cette roue communique le mouvement de l'axe A à l'axe B, par l'intermédiaire d'une troisième roue F′.

On inverse le mouvement de l'axe A et en dégageant à la main la dent D de la crémaillère, on fait fonctionner l'embrayage E. Le pas de vis H agit alors en sens inverse et toute la partie mobile de l'appareil recule rapidement.

Tube à air. — Il reste à faire remarquer que le tube à air TT est composé d'anneaux mobiles comme ceux d'une lunette, qui lui permettent de s'allonger et de se raccourcir, et de suivre ainsi dans tous ses mouvements la boîte du tiroir à laquelle il est attaché.

Organe destiné à donner le mouvement à la tige régulatrice. — Le tige régulatrice A reçoit son mouvement d'un piston qui oscille dans un corps de pompe X, au moyen de tiroirs analogues à ceux d'une machine à vapeur. La tige du piston mène une semelle Z qui se meut dans des glissières G. A cette semelle est fixée une bielle qui transmet le mouvement à un arbre sur lequel est calée une roue d'angle qui engrène une autre roue placée à l'extrémité de l'arbre A. Un volant V régularise le mouvement.

L'outil. — Son usage. — L'outil est un fleuret dont l'extrémité est en forme de Z. Il perce des trous de $0^m.04$ et $0^m.09$ de diamètre. Mais dans ce dernier cas il est muni, à $0^m.20$ en arrière de sa tête, d'un renflement qui achève la largeur du trou.

La machine n'a qu'une course de $0^m.80$ environ, néanmoins, elle peut être employée à percer des trous plus profonds, en faisant varier la longueur des outils. On perce ordinairement des trous de $0^m.90$ de profondeur, et l'on emploie des outils dont les longueurs varient de $0^m.50$ à 2 mètres; on pourrait, avec les mêmes fleurets, percer des trous beaucoup plus profonds.

Nettoyage des trous. — La machine est munie d'une petite lance YY fixée sur le bâti et alimentée par un réservoir d'eau maintenu à une pression de 5 atmosphères.

En ayant soin de diriger le jet au-dessus de l'outil, entre lui et la paroi du trou, l'eau pénètre jusqu'au fond, entretient les surfaces fraîches et ressort en dessous entraînant toutes les matières broyées (8).

§ 2. *Travail de la machine.*

Affût et son tender. — Les machines sont installées, pour le travail, sur un chariot en fer dont les bâtis sont très-lourds et qui se compose de deux parties, l'affût ou partie antérieure et le tender ou partie postérieure (Pl. 39, *fig.* 2). Ces deux parties du chariot sont montées chacune sur quatre roues portées sur des rails qu'on pose au fur et à mesure de l'avancement.

Une machine aéromobile A sert à faire avancer ou reculer le chariot. En B est une pompe mise en mouvement par l'air comprimé, qui sert à puiser de l'eau dans des puits creusés de distance en distance et qui alimente les réservoirs C mis en pression par l'air comprimé. Les réservoirs C alimentent eux-mêmes le petit réservoir R', qui transmet l'eau aux lances des perforatrices au moyen de

tuyaux en caoutchouc. En R se trouve le récipient de l'air comprimé qui communique avec la conduite par sa partie postérieure et qui porte, à sa partie antérieure, dix bouches parfaitement indépendantes pour alimenter dix perforatrices au moyen de tuyaux flexibles.

En avant de l'affût sont deux montants D, E destinés à supporter des barres OO fixées dans des entailles. Ces barres servent à porter les perforatrices à l'aide d'agrafes GH dont la forme particulière permet d'orienter les machines dans divers sens :

1° Dans le sens vertical, en déplaçant les barres de support OO dans les entailles de la crémaillère et leur donnant la position voulue;

2° Dans le plan horizontal à l'aide de la rotation de l'agrafe antérieure H autour de la barre O et du déplacement latéral de l'agrafe postérieure G sur les barres OO.

On peut, sur la même barre, placer deux machines dans l'intérieur du bâti de l'affût et deux en porte-à-faux à l'extérieur. On peut en outre placer plusieurs barres sur la hauteur de l'affût. Le nombre des perforatrices actuellement employées est de huit (9).

L'affût et son tender sont munis chacun d'un frein qui permet de les fixer sur des rails.

Percement de la petite galerie.—L'affût est destiné à percer la petite galerie de l'avancement, qui a 4 mètres de largeur sur 3 mètres de hauteur. L'élargissement se fait ensuite par les moyens ordinaires en multipliant les points d'attaque.

L'affût étant garni de ses huit machines et prêt à fonctionner, on l'amène en face du point d'attaque.

Deux machines placées auprès du centre percent, sur une ligne horizontale, des trous de $0^m.09$, et entre chacun d'eux des trous de $0^m.04$, en tout une douzaine de trous.

On dispose ensuite une seconde ligne de trous, une dizaine environ, sur une ligne parallèle à la première, et enfin on perce une soixantaine de trous disposés sur la surface en-

tière de l'attaque; en tout quatre-vingt trous sur la superficie de 12 mètres quarrés.

Ce travail se fait sans autre interruption que le changement des outils et dure plus ou moins, suivant la résistance de la roche, mais se fait ordinairement en moins de six heures. Au bout de six heures, donc, la galerie se trouve criblée de trous de $0^m.90$ de profondeur, au nombre de quatre-vingts environ, sur lesquels six trous de $0^m.09$ de diamètre.

Cette période de travail terminée, l'affût est retiré en arrière de deux portières en chêne qui le mettent à l'abri des éclats de mine et l'on commence a faire les explosions.

On nettoie les trous au moyen d'un jet d'air comprimé qui les sèche très-rapidement et on les charge avec des cartouches toutes préparées.

L'explosion se fait successivement; on charge les mines du centre; comme on a eu le soin de laisser vides les trous de $0^m.09$, les coups de mine, rencontrant latéralement une ligne de moindre résistance, produisent leur effet dans ce sens, au lieu de partir comme des coups de canon. La roche, sur la partie centrale de l'attaque, est broyée après cette première explosion et laisse un vide de $0^m.80$ à $0^m.90$ de profondeur, $1^m,30$ de largeur et $0^m,40$ de hauteur environ.

Le vide ainsi formé donne toute facilité pour le tirage des autres mines qu'on fait partir successivement huit par huit.

Ces détails n'ont pas d'ailleurs une grande importance; il suffit d'indiquer le principe suivant lequel se fait l'attaque. Il sera appliqué diversement, s'il y a lieu, suivant les indications que pourra donner l'expérience.

Enlèvement des déblais. — A la suite de l'explosion en petite galerie, les débris sont généralement peu volumineux et faciles à charger. On pousse latéralement à la voie du chariot deux petites voies de $0^m.60$ d'écartement sur lesquelles circulent des wagonnets plats chargés de caisses dans lesquelles on enlève les débris. Ces caisses sont rem-

plies, chargées sur les wagonnets et conduites aux lieux de dépôt d'où elles sont enlevées par de grands wagons circulant sur les voies principales.

Le travail de l'explosion et de l'enlèvement des débris dure environ quatre heures. En tout dix heures pour l'opération entière.

CHAPITRE VI.

CONCLUSIONS.

Après l'exposé que je viens de faire, peut-on considérer comme résolu le problème du forage du tunnel des Alpes?

La question présentait deux sortes de difficultés :

1° Introduction de l'air respirable dans les galeries à toutes les profondeurs; 2° accélération du travail, de manière à le terminer dans un temps très-court relativement à celui qui avait été prévu par l'emploi des moyens ordinaires.

Le premier terme du problème, celui sans lequel il était absolument impossible d'entreprendre les travaux, paraît résolu d'une manière satisfaisante; car on produit de l'air comprimé en grande quantité, on peut le conserver dans des récipients fermés et le conduire, sans pertes sensibles dans la pression, à des distances considérables. On pourra donc, en faisant arriver de l'air au fond des galeries, entretenir une atmosphère respirable et produire des chasses qui expulseront l'air vicié par l'explosion des mines.

On a calculé que la consommation de chaque attaque du tunnel serait de 82 000 mètres cubes d'air par jour. Or il existe ou il existera de chaque côté des Alpes, dix compresseurs à choc et six compresseurs à pompe, pouvant fournir toutes les 24 heures :

	mètres cubes.
Les dix compresseurs à choc.	70 000
Les six compresseurs à pompe . . .	42 000
En tout. . . .	112 000

Soit 37 p. 100 en sus des besoins présumés..

Au moment où les explosions de mines se produisent, on ouvre les robinets des tuyaux de manière à injecter de l'air comprimé en grande quantité dans la galerie. Ces injections chassent promptement l'air vicié par la combustion de la poudre et le travail à faire au fond de la galerie peut être repris immédiatement; mais les nuages de fumée n'avancent que très-lentement dans la petite galerie et dérangent singulièrement les ouvriers occupés à l'enlèvement des déblais et à l'avancement en grande galerie, au point de les obliger à suspendre ou tout au moins à ralentir leur travail.

C'est là un grave inconvénient auquel on a commencé à remédier, du côté de Bardonnèche, en établissant une cheminée d'appel qui communique avec l'avancement en petite galerie au moyen de l'aqueduc souterrain placé au centre du tunnel. Le tirage de cette cheminée est sollicité par un ventilateur.

La plus grande partie de l'air vicié aura donc une issue isolée et les ouvriers n'étant plus incommodés par la fumée pourront accélérer leur travail. Je considère donc comme résolue, en principe, la question de l'aérage du tunnel. En ayant égard à l'immensité du travail à faire il est impossible de ne pas prévoir des éventualités et des difficultés de détail; mais le passé donne l'espoir qu'elles seront aplanies au fur et à mesure qu'elles se présenteront (10).

Le second terme du problème ne me paraît pas aussi avancé; et cela se comprend parfaitement: il ne suffit pas d'inventer des machines, il faut les mettre en mouvement. Or il faut 15 ouvriers mécaniciens pour mener les perforatrices pendant le percement des trous. On fait en ce moment deux opérations par jour à Bardonnèche; il faut donc 30 ouvriers mécaniciens pour l'attaque italienne seulement. Lorsque les machines fonctionneront du côté de la France, il en faudra le double, soit environ 70, en comptant

quelques ouvriers supplémentaires. On ne forme pas d'un seul jet un personnel aussi nombreux, et dans lequel les ouvriers doivent présenter certaines aptitudes physiques.

On reproche souvent à M. Sommeiller de ne pas avoir encore établi les machines du côté de Modane. Ce reproche est injuste et le parti contraire est excellent. On forme à Bardonnèche le personnel qui devra travailler sur les deux têtes, et il est bien plus facile de faire son éducation sur cette attaque, à laquelle les machines sont appliquées depuis plus d'un an, que si on l'essayait à Modane où tout serait nouveau.

En attendant, les procédés ordinaires sont employés sur le territoire français et la nature du terrain est telle, qu'on avance au moins aussi vite qu'on pourrait le faire avec les machines dirigées par un personnel incomplétement formé.

En ce qui concerne l'accélération du travail au moyen des machines, je me bornerai à constater ce qu'on fait aujourd'hui et à exprimer les espérances de M. Sommeiller.

J'ai dit que, du côté de Bardonnèche, chaque explosion amenait un avancement de $0^m.80$ à $0^m.90$; qu'on employait six heures au forage des trous de mines et quatre heures à l'explosion et à l'enlèvement des déblais, en tout dix heures pour l'opération entière. Dans la visite qu'elle a faite sur les travaux au mois d'août dernier, la commission internationale a été témoin d'une explosion centrale qui s'est présentée dans les conditions ci-dessus énoncées. L'avancement devrait donc être de 1^m 70 par jour, soit à peu près de 52 mètres par mois; mais il résulte des renseignements qui nous ont été donnés, que jusqu'à ce jour il n'était guère que de 35 mètres. Il faudrait donc encore douze ans pour achever les 10200 mètres restant à creuser, en supposant qu'on travaillât au moyen des machines sur les deux attaques et qu'on restât stationnaire dans les résultats obtenus.

On comprend très-bien qu'avec un personnel exercé et une somme à valoir de quatre heures qui reste chaque jour

pour parer aux accidents imprévus, on puisse arriver à régulariser les deux opérations qu'on fait aujourd'hui, de manière à se rapprocher d'un avancement mensuel de 50 mètres sur chaque attaque ; dans ce cas, la durée du travail restant à faire pourrait être réduite à huit ans et demi.

Enfin on a pu remarquer que l'affût qui porte les machines est disposé pour en recevoir dix, car il est muni de dix bouches d'eau et d'air. Or dans ce moment, huit machines seulement sont employées au forage des trous ; l'emploi de deux machines nouvelles sera praticable lorsque le personnel sera complétement exercé ; une accélération dans cette opération est donc possible ; et si l'on tient compte de cette circonstance que les mineurs et les manœuvres employés à l'extraction des déblais pourront également gagner du temps lorsqu'ils seront débarrassés de la fumée qui ralentit leurs travaux ; on concevra qu'on puisse arriver à faire trois explosions, par chaque 24 heures au lieu de deux que l'on fait aujourd'hui. Peut-être alors et dans le principe surtout, ne sera-t-il pas possible de faire chaque jour ces trois explosions ; mais l'avancement qu'on obtiendra lorsqu'on pourra les faire, compensera les retards qui seront apportés à la rapidité de l'exécution par des commencements difficiles et par les incidents de toute sorte qui viennent entraver des travaux de cette nature.

L'emploi des machines donne aujourd'hui une accélération sur les moyens ordinaires, cela n'est pas douteux ; cependant cette accélération n'est pas comparable à celle qu'on avait prévue dans le principe. Arrivera-t-on à se rapprocher des résultats qu'on avait annoncés ? J'ai confiance qu'il en sera ainsi, et qu'en l'état le plus grand obstacle que rencontre l'éminent ingénieur chargé de la direction des travaux, gît dans l'éducation du personnel d'ouvriers chargé de mettre en œuvre les procédés adoptés.

Quoi qu'il en soit, l'entreprise du tunnel des Alpes est un magnifique travail qui fait le plus grand honneur au

courage, à l'énergie et à l'intelligence des hommes qui ont osé l'entreprendre.

P. S. Le rapport qui précède présente un résumé des travaux exécutés jusqu'au mois d'août 1862 ; depuis cette époque, les machines perforatrices ont été installées sur l'attaque française. Elles ont commencé à fonctionner le 25 janvier 1863. Après un peu de désordre, elles ont marché avec la plus grande régularité, la moyenne de l'avancement du mois de mars, a été de 1m.10 par jour et celle des huit premiers jours du mois d'avril est de 1m. 40. Je considère ce dernier fait comme exceptionnel ; mais il prouve, dans tous les cas, que les difficultés d'exécution sont loin d'augmenter.

---

(1) *Notes et documents annexés au mémoire précédent, sur le percement du grand tunnel des Alpes.*

Il ne sera peut-être pas inutile de donner une idée de l'état actuel des voies de communication que le tunnel des Alpes est destiné à relier et à remplacer.

Le chemin de fer Victor-Emmanuel, concédé par la loi du 15 août 1857, a son origine au Rhône, ancienne frontière des États sardes du côté de la Savoie. Il est soudé au chemin de fer de Lyon à Genève au moyen d'un embranchement de 2 kilomètres environ, qui part de la gare de Culoz et aboutit au Rhône. Le chemin de fer Victor-Emmanuel se dirige ensuite sur Aix-les-Bains, Chambéry, Montmélian, où il entre dans la vallée de l'Isère qu'il remonte jusqu'à son confluent avec l'Arc. Il remonte ensuite dans cette dernière vallée jusqu'à Saint-Jean-de-Maurienne, Saint-Michel et Modane. De ce dernier point il ira chercher l'entrée du tunnel placée au-dessus du village de Fourneaux. La sortie du tunnel se trouve auprès de Bardonnèche dans la vallée de Rochemolle, affluente de la Dora. Le chemin descend la Dora jusqu'à Suze, où il rencontrera

la ligne actuelle qui se dirige sur le pont du Tessin par Turin, Verceil et Novare.

Le chemin de fer Victor-Emmanuel peut-être divisé en cinq sections.

1re *Section.* Du Rhône à Saint-Jean-de-Maurienne, construite par la compagnie et en exploitation. Les pentes de cette section permettent une bonne exploitation. Elles atteignent rarement 0m.010 et ne dépassent cette inclinaison que sur une longueur de 1 500 mètres aux abords de la station de Saint-Jean-de-Maurienne. La rampe de ces abords est de 0m.016 par mètre.

2e *Section.* De Saint-Jean-de-Maurienne à Modane, construite ou à construire par la compagnie. En exploitation jusqu'à Saint-Michel, à construire de Saint-Michel à Modane. De Saint-Jean à Saint-Michel (12k.5). La rampe est de 0m.023, coupée par quelques courts paliers à pente réduite. De Saint-Michel à Modane (17k), l'inclinaison sera encore plus considérable. Elle atteindra 0m.032 sur une longueur de 1 600 mètres.

3e *Section.* De Modane à Suze. Cette section comprend le grand tunnel des Alpes qu'on a appelé improprement tunnel du mont Cenis, à cause de la dénomination de la route de terre, mais qui se trouve en réalité à 25 kilomètres, environ en aval du col du mont Cenis. Le gouvernement s'est chargé de sa construction moyennant une subvention de la compagnie fixée à 20 millions de francs, et la compagnie l'exploitera comme le restant de sa ligne. Les rampes des abords du tunnel atteignent du côté de l'Arc 0m.030 par mètre et du côté de la Dora elles varient de 0m.010 à 0m.035; les pentes égales ou supérieures à 0m.030 présentent un développement de 27 kilomètres. 7 paliers horizontaux présentent une longueur totale de 2 300 mètres. Les rampes du tunnel sont de 0m.0222 sur la moitié de la longueur et 0m.0005 sur l'autre moitié.

4e *Section.* De Suze à Turin, construite par une compagnie dans laquelle l'État était propriétaire de la moitié des actions. La compagnie Victor-Emmanuel a remboursé la part de l'État et a racheté à peu près la totalité de l'autre moitié des actions.

5e *Section.* De Turin au Tessin, construite de Turin à Novare, par une compagnie, dont le Victor-Emmanuel a remboursé les actions et achevée par cette dernière compagnie au moyen du raccordement avec la ligne de Suze et du prolongement de Novare sur le Tessin.

Les pentes de ces deux dernières sections sont dans les conditions d'une bonne exploitation.

Les longueurs de ces diverses sections sont les suivantes :

1re section.		Du Rhône à Saint-Jean-de-Maurienne. . .	104k
2e	id.	De Saint-Jean à Modane.	29
3e	id.	De Modane à Suze.	48
4e	id.	De Suze à Turin.	53
5e	id.	De Turin au Tessin.	113
		Longueur totale.	347k

La lacune qui existe entre Saint-Michel et Suze est desservie au moyen de la route du mont Cenis, par des services de diligences et de roulage accéléré et ordinaire, organisés par les soins de la compagnie. Les transports sont très-pénibles et très-coûteux par cette voie; car il faut, pendant cinq mois de l'année, faire un transbordement à Lanslebourg dans les traîneaux qui conduisent les voyageurs et les marchandises au Molaret, où ils sont de nouveau transbordés dans des voitures ordinaires et conduits à Suze où ils reprennent le chemin de fer.

Les prix des places dans les diligences sont de 24f.05 dans le coupé, 22f.75 dans l'intérieur, 20f.65 dans la rotonde et sur la banquette, pour un parcours de 80 kilomètres.

Le prix du transport d'une tonne de marchandises est en moyenne de 43f.50.

Malgré ces prix élevés et les inconvénients des transbordements, le nombre des voyageurs qui franchissent annuellement le mont Cenis est de 40 000 et le tonnage des marchandises est de 22 000 tonnes.

Voici le détail de ces transports :

1° *Voyageurs.*

		DE SUZE A SAINT-MICHEL.				DE SAINT-MICHEL A SUZE.				TOTAUX dans les 2 sens.
		Coupé.	Intérieur.	Rotonde.	Totaux.	Coupé.	Intérieur.	Rotonde.	Totaux.	
Voyageurs internationaux transportés par la compagnie.										
1861	Octobre. . .	321	615	488	1 424	362	646	543	1 551	2 975
	Novembre. .	287	573	422	1 282	245	490	290	1 025	2 307
	Décembre. .	223	455	332	1 010	199	396	204	799	1 809
1862	Janvier . . .	213	382	207	802	173	328	135	636	1 438
	Février . . .	187	329	211	727	197	333	266	796	1 523
	Mars.	222	352	276	850	247	494	366	1 107	1 957
	Avril.	271	480	314	1 065	314	610	491	1 415	2 480
	Mai.	297	505	419	1 221	348	779	614	1 741	2 962
	Juin	327	563	399	1 289	450	799	542	1 791	3 080
	Juillet. . . .	346	613	470	1 429	426	732	571	1 729	2 962
	Août.	464	973	685	2 022	413	798	553	1 764	3 080
	Septembre. .	486	933	822	2 241	376	708	550	1 634	3 875
		3 644	6.673	5 045	15 362	3 750	7 113	5 125	15 988	31 350
Voyageurs transportés en dehors des services de la compagnie et voyageurs locaux.		»	»	»	4 238	»	»	»	4 412	8 650
Totaux.		»	»	»	19 600	»	»	»	20 400	40 000

Soit par jour. 1 095,0

2° *Marchandises.*

De Saint-Jean à Saint-Michel, 2e semestre de 1861. . . .	6487f,318	15 371f.204
id., 1er semestre de 1862. . . .	5644 ,517	
Marchandises transportées en dehors des services de la compagnie.	3239 .369	
De Suze à Saint-Michel ou Saint-Jean, 2e semestre de 1861.	2815 ,373	6 628 796
id., 1er semestre de 1862.	2416 ,424	
Marchandises transportées en dehors des services de la compagnie.	1396 ,999	
Total		22 000f,000

(2) Pour exécuter le tracé préparatoire de la ligne, on a relevé le plan des abords dans les deux vallées et on les a reliés par une triangulation faite à travers la montagne et passant par le col de

Fréjus. Des courbes de niveau furent rapportées sur ce plan à l'aide duquel on put étudier la direction et le profil qu'il convenait de donner au tunnel.

Le point de départ fut choisi auprès de Bardonnèche, sur la rive droite du torrent de Rochemolle et au-dessus des plus hautes eaux de ce cours d'eau ; la ligne fut ensuite jetée dans la direction du village de Fourneaux, suivant laquelle la montagne a le moins d'épaisseur.

Pour que la vérification de la direction de la galerie fût toujours possible, elle fut tracée en ligne droite sauf à construire, après son achèvement, les raccordements avec ses abords. La longueur trouvée entre les deux fausses têtes fut de 12 675 mètres. Afin de pourvoir à l'écoulement des eaux et d'augmenter la probabilité de la rencontre des deux attaques, la plate-forme fut projetée avec deux inclinaisons opposées, on partit de Bardonnèche :

A la cote	1 343m.74
Pente par mètre 0m.0005 de la tête au point culminant sur 6400 mètres	3 .20
Cote du point culminant	1 346m.94
Rampe par mètre du point culminant à l'entrée du côté de l'Arc, 0.023 par mètre, soit pour 6275 mètres	144m.32
Cote de l'entrée vers l'Arc	1 202m.62

Le repère du fond de la vallée de l'Arc était indiqué à la cote 1 097m.75. Il restait donc encore une hauteur de 104m.88 qu'on rachète au moyen d'un lacet contournant le bourg de Modane et dont la construction n'offrira pas de difficultés exceptionnelles.

Les chiffres du projet d'exécution diffèrent de ceux qui précèdent, et ces différences proviennent des erreurs rectifiées, par le tracé définitif, dans la longueur du tunnel et dans les cotes des points de départ.

La cote d'entrée à Bardonnèche est fixée à	1 335m.38
Pente par mètre du sommet à la fausse tête vers Bardonnèche 0m.0005 sur 6 110 mètres, moitié de la longueur	3 .06
Cote du point culminant	1 338m44
Rampe par mètre de l'entrée sur Fourneaux au point culminant 0m.0222 sur 6 110 mètres	135 .64
Cote de la fausse tête à Fourneaux	1 202m.80

Les cotes données par le profil pour le point culminant et l'entrée à Fourneaux diffèrent de 0m.01 et de 0m.02 de celles qui précèdent.

On conçoit que le tracé d'exécution de la galerie à dû donner lieu à de grandes difficultés. Voici comment on a procédé :

Du point culminant de la montagne, on aperçoit les versants rive gauche de la vallée de Rochemolle et rive droite de la vallée de l'Arc. On a construit un observatoire sur le faîte et sur la direction du tunnel, et au moyen d'un théodolite on a placé des repères sur les deux versants opposés aux têtes du tunnel. Après avoir vérifié avec le plus grand soin que ces repères et l'observatoire du faîte se trouvaient en ligne droite, on avait la ligne du tunnel parfaitement fixée par trois points. On a cheminé ensuite sur l'alignement ainsi déterminé de manière à placer tous les points de repère qu'on voit marqués sur le profil (Pl. 37, *fig.* 1) et l'on a installé les observatoires placés sur les deux versants opposés aux têtes du tunnel. Ces observatoires correspondent au prolongement de la ligne de pente de chaque versant de la galerie. Une lunette scellée entre deux montants verticaux permet de donner et rectifier l'alignement. La direction de la lunette est d'ailleurs fréquemment vérifiée au moyen des repères extérieurs qui sont solidement établis et entretenus avec soin.

L'opération de la pose des repères a été l'objet de nombreuses vérifications qui ont servi en outre à connaître la distance réduite des deux têtes du tunnel et leur altitude relative, afin de rectifier les données du projet au moyen de ces opérations aussi exactes que possible. On peut voir que bien qu'il existe des différences entre les résultats de ces vérifications rigoureuses et les données du projet, ces différences ne sont pas considérables.

On a pu ainsi fixer le point de départ des plates-formes et de l'attaque.

Le nivellement a été fait au moyen d'instruments très-précis, en passant par le col de Fréjus, et rattaché à de nombreux repères. Il a été vérifié à plusieurs reprises avec beaucoup de soins. On a rattaché aux repères les points remarquables de la montagne qui se trouvaient sur la ligne du tracé ainsi que les observatoires qui avaient servi à jalonner cette ligne et l'on a obtenu ainsi le profil en long sur l'axe qui ne présentait tout au plus qu'un intérêt scientifique.

La triangulation a été faite avec un grand soin ; mais on ne pourrait affirmer qu'elle est rigoureusement exacte à cause des difficultés que présente en pays de montagne la mesure des bases réduites à l'horizon. La longueur du tunnel peut donc varier de quelques mètres; mais il est évident que cette erreur possible dans la longueur ne peut avoir aucun inconvénient. Les deux parties de la galerie doivent se rencontrer, puisqu'elles ont des pentes inverses, pourvu toutefois qu'elles soient dans le même plan.

Or toutes les précautions ont été prises pour que les repères qui déterminent l'axe de la galerie fussent placés dans le même plan; autant donc que la perfection des instruments mis à l'usage de l'homme peut donner de sécurité, on peut regarder toutes les questions relatives à la rencontre des attaques comme résolues.

(3) *Note sur les terrains qui avoisinent le tunnel des Alpes (annexée à la carte minéralogique), par* M. LACHAT *ingénieur des mines, à Chambéry.*

Les divers terrains stratifiés des Alpes de la Savoie ont une direction générale du sud-ouest au nord-est, et cette direction leur est imprimée par les masses éruptives sur lesquelles ils s'appuient. Les principales de ces masses sont : 1° le typhon de protogine qui court de l'Oysans au mont Blanc; 2° les massifs de protogine ou de syénite et de serpentine qui longent la Savoie au sud-est.

Entre ces deux alignements repose un bassin de terrains stratifiés plus ou moins métamorphiques, dont les rélèvements s'appuient sur chacune des masses ignées et dont la ligne synclinale marche des environs du Galibier à ceux du petit Saint-Bernard. C'est à Orelle que la vallée de l'Arc est coupée par cette ligne.

Lorsqu'on remonte la vallée de l'Arc, on quitte la protogine à Saint-Jean-de-Maurienne. A partir de ce point jusqu'à Orelle, tous les terrains plongent vers le sud-est (*) au delà d'Orelle jusqu'au fond de la Maurienne, on y rencontre, dans une succession inverse, les mêmes principaux terrains, et de plus, ceux-ci inclinent au contraire vers le nord-ouest.

De ces faits simples, il résulterait que les terrains les plus anciens de ce pays seraient les plus voisins de Saint-Jean-de-Maurienne et du mont Cenis, et que les plus modernes se trouveraient près d'Orelle. Cette conclusion si naturelle a été posée depuis longtemps par MM. Sismonda et Élie de Beaumont, mais elle a été vivement combattue dans ces derniers temps par l'école paléontologique.

Quoi qu'il en soit de ce débat, le tunnel des Alpes recoupe tous les étages du relèvement sud-est, c'est-à-dire de la série des terrains qui sépare Orelle de la ligne des massifs éruptifs ci-dessus mentionnés. Sur son passage il ne rencontre pas de massif éruptif; tout au plus il est douteux qu'il vienne à traverser quelque couche de serpentine de très-peu d'importance.

(*) Sous la ligne synclinale d'Orelle, les couches sont verticales.

Les divers étages du relèvement, qui se trouve au sud-est d'Orelle, sont en remontant la série suivant l'ordre de superposition apparente (Pl. 38, *fig.* 1 et 2).

1° *Le terrain des calschistes.*

Il occupe toute la vallée de Bardonnèche jusqu'au col d'Arionda, c'est-à-dire tout le versant italien de la montagne à traverser et la partie supérieure du versant français. Il est formé de schistes ou de talc-schistes gris noirâtre, toujours calcareux, avec alternances de bancs de calcaires gris foncé ; ces roches sont très-souvent sillonnées de veines de quartz blanc incrustant des cristaux de spath calcaire ferrifère. Ce dernier caractère et la nature toujours calcareuse du terrain distinguent nettement celui-ci de l'étage des anthracites avec lequel il a parfois une certaine ressemblance.

Le terrain des calschistes contient assez rarement de l'anthracite de mauvaise qualité ; on n'y rencontre d'autres dépôts métallifères que des veines interstratifiées de fer oligiste feuilleté. Dans quelques parties de la Savoie, ces veines ont assez d'importance ; mais à l'entour du tunnel, on n'en voit qu'un filet rudimentaire au col de la Roue, au contact de ce terrain et du suivant. C'est principalement dans ce même terrain qu'on rencontre les masses serpentineuses ; elles s'y trouvent en couches plus ou moins épaisses et même, comme à l'est de Lanslebourg, forment des assises énormes. L'une de ces couches de cipollin se rencontre sur le chemin de Bardonnèche au col de Fréjus, au ruisseau dit des cinq ombres du Riondet, à l'ouest du tunnel.

La direction générale de ce terrain est du sud-sud-ouest au nord-nord-est. Sa pente, toujours plongeant dans la région de l'ouest, est de quelques degrés à l'entrée de Bardonnèche, mais atteint 35° et même 52° aux cols de Fréjus et d'Arionda.

Les calschistes sont des roches aisées à excaver et se soutenant assez mal ; ils comprennent la plus grande partie du tunnel.

2° *Le terrain des calcaires massifs.*

Il s'allonge sur le versant français entre le col de la Roue et les forts de Lesseillon. Il est généralement formé dans les Alpes de bancs calcaires, gris clair, à structure massive ou stratoïde, à texture compacte, lamellaire ou bréchiforme. Dans les régions métamorphiques, comme l'est la montagne à traverser, ces bancs sont dolomitiques et même parfois exclusivement formés de dolomie ; près des forts, on trouve un de ces bancs de dolomie pénétré de cristaux d'albite. Souvent le métamorphisme a été poussé plus loin,

et les couches sont transformées en gypse blanc lamellaire ou niviforme; toutefois, cette transformation n'est pas tellement complète qu'on ne puisse reconnaître ça et là, dans la masse gypseuse, des noyaux encore calcaires ou dolomitiques passant insensiblement au gypse. La conversion en gypse ne s'est pas opérée généralement par couches, mais au contraire affecte des régions particulières d'une même direction de l'étage. C'est ainsi que les calcaires dolomitiques de l'Arionda sont changés en gypse au-dessus du Charmet; on remarque un fait semblable au plateau de la Grande-Montagne.

Comme toute la longueur comprise entre l'Arionda et les forts est gypseuse, il est probable que le tunnel traversera l'étage en question sous cette forme. Il faut toutefois ajouter que dans la profondeur le sulfate de chaux est vraisemblablement à l'état d'anhydrite et non de gypse.

La dolomie de ce terrain prend quelquefois à l'air une texture cariée qui la fait ressembler à du tuf; on l'appelle alors *Cargneule*. On remarque près du col d'Arionda de ces dolomies à divers degrés d'altération.

Les bancs de calcaire ou de dolomie renferment quelquefois, notamment à l'Arionda, des rognons de silex gris ou brunâtres.

Ce terrain contient rarement des veines interstratifiées de cuivre gris. A sa partie supérieure, au contact des quartzites, se trouve une couche de fer oligiste violet, lithoïde, grenu. On remarque assez constamment dans le même étage, tant au relèvement du nord-ouest d'Orelle qu'à celui du sud-est, une couche de dolomie colorée en rouge par de l'oxyde de fer.

Dans les régions des Alpes où sa conversion en gypse n'efface pas sa stratification, ce terrain repose en concordance sur les calschistes. Cette superposition concordante est particulièrement bien nette au nord-ouest de Bardonnèche, jusqu'à la montagne des Sarrasins; mais entre les cols de la Roue et d'Arionda, une anomalie due à des failles a jeté en stratification transgressive un énorme massif de calcaire sur les terrains en place. Cette anomalie paraît se terminer à l'ouest du tunnel et ne pas arriver jusqu'au vertical de celui-ci.

3° *Le terrain des quartzites.*

Il couvre les crêtes qui dominent Modane à droite et à gauche de l'Arc. Ce sont, à la base, des quartzites ou grès subgrenus et plus haut des poudingues stéatiteux; une couleur blanche très-légèrement verdâtre caractérise ces roches. Quelquefois la stéatite leur

donne un certain degré de schistosité et détermine ainsi des couches de schiste quartzeux alternant avec les quartzites.

Cet étage est intercalé en concordance entre le précédent et le suivant, ainsi qu'on le voit bien entre le chalet de la Losa et la mine des Sarrasins; mais entre le bocard qui est au pied du col de la Roue (côté de Savoie) et les Arplanes, il fait partie d'une série dont la succession irrégulière est due à l'anomalie ci-dessus rappelée.

Le terrain des quartzites contient, dans la tarentaise, des filons interstratifiés très-importants de galène argentifère. Les indices d'Amodon, rive droite de l'Arc, près de Modane, paraissent appartenir au même gisement; mais on ne connaît pas de filon de plomb dans les quartzites entre Modane et Bardonnèche.

Les quartzites sont éminemment durs et résistants; comme tels, ils ont donné des appréhensions pour le travail de perforation. Heureusement la puissance de l'étage est d'au plus 450 mètres (normalement aux couches). Au sud-est du Charmet, sur la ligne du tunnel, leur inclinaison varie de 51° à 65° toujours plongeant au sud-ouest.

Les quartzites se fendillent quelquefois à l'air; ils forment alors d'excellents matériaux pour l'empierrement des routes. L'altération va même, comme on le voit sous l'entrée du tunnel, jusqu'à une réduction en grains anguleux de sable.

4° *Le terrain à anthracite.*

Il embrasse en largeur toute la distance qui sépare le Charmet de Saint-Michel, intervalle au milieu duquel se trouve Orelle. Par conséquent, il constitue la région dans laquelle on entre en tunnel du côté de Modane.

Il contient des schistes gris ou gris noirâtres, pailletés de mica, des couches nombreuses et parfois puissantes d'anthracite, mais toujours peu étendues et affectant une forme lenticulaire; des bancs de poudingues, formés de quartz et de cailloux quartzeux, de jaspe, de schiste et quelquefois d'anthracite vitreuse, le tout uni par un ciment talqueux ou schisteux; des psammites, ou grès schisteux, toujours pailletés de mica. Les poudingues et psammites sont parfois veinés de quartz blanc avec enduits lamelleux de chlorite. Toutes ces roches alternent; mais les schistes, anthracites et les poudingues sont plutôt à la base, et les psammites à la partie supérieure, près d'Orelle. La couleur grise de ces schistes, poudingues et psammites est assez caractéristique; mais par métamorphisme elle devient gris verdâtre, les feuillets schisteux passent au

talc, et les grains de quartz se mêlent de lames d'orthose. On voit une de ces régions métamorphiques précisément en face de l'entrée du tunnel, rive droite de l'Arc, et une autre faible bande au-dessus de cette entrée sur la route du Charmet.

On a déjà dit plus haut que ces roches se distinguaient facilement des calschistes.

Ce terrain, entre Orelle et Modane, contient un grand nombre de filons métallifères, nettement transversaux aux couches, et généralement dirigés de l'est à l'ouest. Ces filons sont, les uns de fer spathiques laminaire, les autres de galène argentifère; ils ont donné lieu à des exploitations antiques, qui se sont continuées jusqu'aujourd'hui ou du moins qui ne sont suspendues que provisoirement. La carte (Pl. 38, *fig.* 2) ci-jointe donne l'énumération de ces filons.

Le terrain à anthracite repose en concordance sur celui des quartzites, comme on le voit très-nettement sur le chemin de la Losa à la mine des Sarrasins; là, il plonge d'une manière concluante vers le nord-ouest. Le même sens dans la pente est également manifesté le long de l'Arc, entre Orelle et le Freney. On peut encore constater la même superposition concordante aux mines d'anthracite, sur le trajet du Charmet a l'Arionda, au contact des deux étages, et l'inclinaison dans la région de l'ouest, aux mines d'anthracite du Charmet. Toutefois ces caractères n'apparaissent pas nettement à l'entrée du tunnel; car les bancs, après avoir plongé légèrement au nord-ouest, prennent vers le sud-est une inclinaison légère qui persiste à la mine d'anthracite de Cote-Vélin; ce qu'il faut attribuer soit à ce que la stratification très-inclinée sous l'Arionda s'abaisse vers l'horizontale à la tête de tunnel, soit peut-être à l'anomalie du torrent du Charmet, entre la chapelle et le bocard.

Telle est la succession des roches qui constituent la montagne d'Arionda. On n'a pas cru devoir signaler ici le terrain d'éboulement qu'on a dû traverser sur 180 mètres à Modane, ni le dépôt lacustre quaternaire situé entre Modane et les Fourneaux, lequel est de beaucoup en contre-bas de la tête du tunnel.

Quant à l'âge des terrains traversés, il y a de grandes divergences entre l'école stratigraphique et l'école paléontologique. Suivant la première, les calschistes appartiennent au lias, les calcaires massifs à l'oolite inférieure; les quartzites et le terrain d'anthracite représenteraient les grès, argiles schisteuses et houilles du groupe jurassique du Yorkshire. Suivant la deuxième, il faudrait admettre une stratification en éventail pour le terrain à anthracite, et par suite, à droite et à gauche d'Orelle, un renversement des

couches et l'existence de deux bassins repliés sur eux-mêmes et appuyés, l'un sur la première ligne de massifs éruptifs ci-dessus, l'autre sur la deuxième. Cela posé, les régions métamorphiques d'anthracite représenteraient le terrain primitif; le terrain à anthracite serait le terrain houiller dont il porte les empreintes végétales; les quartzites seraient le grès bigarré; enfin les calcaires massifs tantôt appartiendraient aussi au trias, tantôt (sous le nom de calcaires du Briançonnais) seraient supérieurs au trias. Ce n'est pas ici le lieu de discuter ce dernier système.

(4) Ce qui se passe dans le compresseur à choc est très-simple et le calcul peut y être appliqué facilement. Appelons M la masse d'eau mise en mouvement,

V la vitesse de cette masse d'eau,

p la pression atmosphérique,

P la pression finale à laquelle l'air est comprimé,

v le volume d'air comprimé à chaque coup de bélier.

La masse d'eau est animée d'une force vive représentée par MV^2, et comme il y a interruption périodique de l'action de l'eau, la quantité de cette force vive employée à chaque coup de bélier est

$$\frac{MV^2}{2}.$$

Cette force vive est annulée par le travail résistant du volume d'air comprimé qui est donné par l'expression p. v. log. hyp. $\frac{P}{p}$.

On a par conséquent

$$\frac{MV^2}{2} = p.\ v.\ \log.\ \text{hyp.}\ \frac{P}{p}.$$

Cette équation lie entre eux directement ou indirectement le volume d'air à comprimer à chaque coup de bélier (v) la hauteur du réservoir R, ou $\left(\frac{V^2}{2g}\right)$, la pression finale P et la masse d'eau à dépenser, qui toutes, suivant la valeur qu'on veut leur donner, entraînent des conditions particulières auxquelles doivent satisfaire les organes de la machine.

C'est en étudiant cette équation, de façon à obtenir les meilleurs résultats, que MM. Grandis, Grattoni et Sommeiller ont arrêté les dispositions de leur compresseur. Le diamètre des tubes est de $0^m.62$, la hauteur de la colonne d'air comprimée à chaque coup de bélier

est de 4.m05. Le volume est donc de $\overline{0.31}^2 \times 3.1416 \times 4.05 = 1.223$. D'après les indications du manomètre, cet air est comprimé jusqu'à 6 atmosphères; on aura donc $P = 7$ atmosphères.

Le travail résistant fourni par l'air est exprimé par la formule ci-dessus, p. v. log. hyp. $\frac{P}{p} = 10330 \times 1.223 \times$ log. hyp. 7, soit 24582 kilogrammètres.

Le travail de l'eau qui a produit cet effet est donné par son poids multiplié par sa hauteur de chute. En n'admettant aucune déperdition, le volume d'eau dépensé est de 1mc.223, la hauteur de chute est de 26 mètres. Le travail de l'eau est donc $1223 \times 26 = 31798$ kilogrammètres.

Le travail utile sera donc $\frac{24582}{31798} = 0.77$.

On n'a pas pu encore faire d'expériences sur le travail utile réel que produit la machine; mais il me paraît que tant que les soupapes seront en bon état, il ne peut y avoir d'autre perte que celle qui résulte de l'eau qui est entraînée dans le réservoir d'air, et cette perte est bien peu considérable.

Les réservoirs d'air comprimé ont chacun une capacité de 17 mètres cubes, ce qui donne 102 mètres cubes d'air à la pression atmosphérique. Chaque coup de bélier fournissant 1.m223, il faudra 84 coups de bélier environ pour remplir un réservoir, c'est-à-dire 28 minutes à 3 coups par minute, et 21 minutes à 4 coups.

(4)' L'analyse n'a pas été appliquée au travail des compresseurs à pompe. On peut toutefois évaluer l'effet utile employé par la machine.

Le piston est mis en mouvement par une roue en dessus qui consomme 1 mètre cube d'eau par seconde sous une chute de 5.m60.

	kilogrammèt.
La force du cours d'eau est de.	5600
La force appliquée sur l'axe de la roue peut être évaluée à 0m.75 de celle du cours d'eau, soit.	4200

Le travail en une minute est donc :

Pour le cours d'eau.	336000
Pour la roue.	252000

Le travail résistant fourni par l'air à chaque coup de bélier est donné par la formule

$$\text{p. v. log. hyp. } \frac{P}{p} = 10330 \times 0.306 \times \text{log. hyp. } 7 = 6151 \text{ k. m.}$$

Et pour 16 coups de piston 98,416 k. m_1, et pour les deux machines attelées à chaque roue 196.832.

Soit 59 p. 100 du travail du cours d'eau et 78 p. 100 de celui de la roue.

Il est évident pour moi que cette machine n'emploie pas toute la force appliquée à la roue et qu'elle en laisse une assez grande quantité disponible. Mais les roues hydrauliques avaient été montées pour un autre usage, et on s'en est servi, pour les compresseurs à pompe, telles qu'elles avaient été projetées.

(5) On a vu que le volume d'eau nécessaire à la compression de l'air était un peu plus grand que celui de l'air à comprimer. Pour comprimer 70.445 mètres cubes d'air, il faudra donc environ 72.000 mètres cubes d'eau, en admettant une perte de 10 litres par coup de bélier. Le débit par seconde du Mélézet devra être de 830 litres. On considère le volume de 900 litres comme le débit minimum que peut fournir ce cours d'eau, il offre donc un excédant d'eau journalier de 6.000 mètres cubes. Mais s'il arrivait qu'une température exceptionnelle vînt réduire ce débit, on en serait quitte pour ralentir pendant quelques jours l'avancement en grande galerie, qui exige la plus grande quantité d'air comprimé, sans modifier l'avancement en petite galerie.

(6) Bien que les pompes élévatoires ressemblent à toutes celles qui sont destinées au même emploi, elles présentent des dispositions qu'il me paraît utile d'indiquer.

Une conduite maîtresse M les alimente toutes (Pl. 39, fig. 9). Elle aspire les eaux dans deux réservoirs placés à côté du bâtiment des compresseurs. Ces réservoirs servent également à recevoir la vidange des machines, de sorte qu'une fois pleins d'eau claire, il suffit de remplacer l'eau qui se perd par l'évaporation pour opérer une rotation du réservoir inférieur aux pompes, de celles-ci au réservoir supérieur et de ce réservoir aux compresseurs à choc et au réservoir inférieur.

La pompe se compose d'un cylindre dans lequel se meut un piston P. A chacune des extrémités du corps de pompe se trouvent des clapets d'aspiration AA et deux clapets de refoulement RR. La machine est donc à double effet. L'eau refoulée par les clapets RR se rend dans un cylindre R′ où elle comprime un matelas d'air qui transmet l'eau dans le réservoir supérieur en régularisant l'écoulement par trois tubes ascensionnels.

La communication entre le réservoir R′ et les pompes peut être interrompue, au moyen d'une soupape S, pour permettre une réparation.

Un tube longitudinal T règne tout le long du réservoir R′ et sert à établir une communication entre deux parties de ce réservoir, dans le cas où un accident exigerait qu'il fût fractionné.

La quantité d'eau que peuvent élever les pompes est à peine suffisante pour faire marcher cinq des dix compresseurs installés à Modane. On pourra remédier à cet inconvénient soit en augmentant le volume de la dérivation, soit en se servant de l'excédant de force que les roues qui mènent les compresseurs à pompe n'emploient pas, soit enfin en dérivant de l'eau du torrent de Charmet, et je soupçonne fort que c'est là l'idée de M. Sommeiller.

Du reste je ne pense pas que tout l'air qui peut être comprimé par les dix compresseurs à choc et les six compresseurs à pompe soit nécessaire, au moins avant longtemps.

(7) Le croquis (Pl. 39, *fig.* 10) représentant une coupe perpendiculaire aux arbres A et B fera comprendre le mouvement de l'excentrique et de la roue de rochet et suppléera à l'insuffisance du texte.

On retrouve les arbres A et B, l'anneau I, muni d'un doigt I″ et mené par l'excentrique I′, le ressort *r* et l'arrêt *a* qui empêchent le doigt de suivre l'excentrique dans son mouvement circulaire et le dirigent sur les dents de la roue de rochet R montée sur l'arbre B.

(8) M. Sommeiller a déjà apporté diverses modifications à la perforatrice. Les principales sont les suivantes :

L'axe B est supprimé, ce qui permet de faire le piston plein, de le rendre plus solide, d'augmenter la surface S et par conséquent la force d'impulsion transmise à l'outil.

Tous les organes qui étaient menés par la tige R sont menés par le prolongement du piston et placés, en conséquence, en avant du tiroir au lieu d'être placés en arrière.

La tige U qui mène le déclic E est placée en dessus de l'appareil, ainsi que la crémaillère pratiquée sur les longerons. Le ressort à boudin J qui sollicite le mouvement en avant de la tige U est remplacé par une tige qui pénètre dans le tiroir et dont la tige U règle le mouvement suivant qu'elle est prise ou non dans les dents de la crémaillère.

Ces changements en permettant la suppression d'un organe, la

tige B, ne sont pas sans importance dans une machine déjà un peu compliquée.

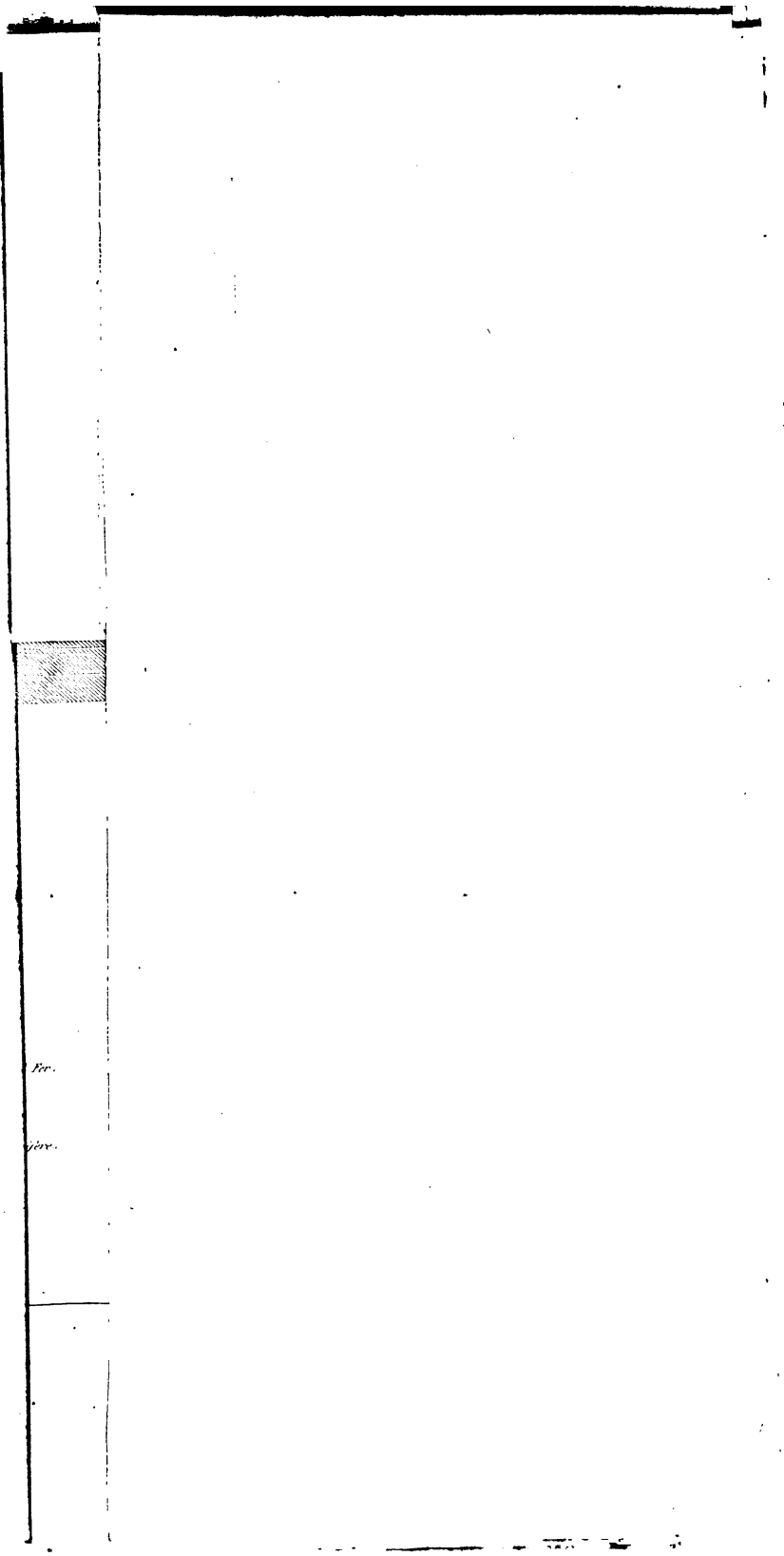
(9) Dans les affûts qu'a fait construire récemment M. Sommeiller et qui seront appliqués à Modane, les supports verticaux à crémaillère D, E sont remplacés par des supports portant des pas de vis, dont les écrous supportent les barres OO. Cette disposition rendra plus rapide le mouvement dans le sens vertical des barres OO auxquelles sont fixées les agrafes qui assujettissent les machines perforatrices.

(10) La direction des travaux du Tunnel des Alpes est confiée à M. Sommeiller. Cet ingénieur a sous ses ordres deux ingénieurs chefs de section, MM. Borelli à Bardonnèche et Copello à Fourneaux.

Il paraît que l'idée des cheminées d'appel destinées à absorber les gaz provenant de l'explosion de la poudre appartient à M. Borelli. Mais en outre de ce moyen, M. Sommeiller se propose d'établir des machines hydrauliques fonctionnant à chaque bouche et pouvant fournir de six à dix mètres cubes d'air atmosphérique par seconde. Je ne connais encore ni le principe sur lequel seront bassées ces machines ni la manière dont elles fonctionneront; j'en rendrai compte l'année prochaine s'il y a lieu. Je sais seulement qu'elles ont pour objet d'assurer la disparition de la fumée qui arrête aujourd'hui le travail des ouvriers et par conséquent de concourir à un bon aérage des galeries.

Paris. — Imprimé par E. Thunot et Cᵉ, rue Racine, 26.

Gravé par Dulos.

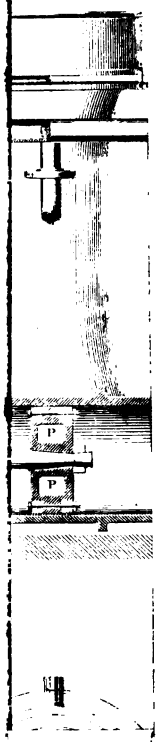

Fer.
ière.

L
R

ALPES

Pom

e parat



This book should be returned to the Library on or before the last date stamped below.

A fine of five cents a day is incurred by retaining it beyond the specified time.

Please return promptly.

Rapport sur le perc
Cabot Science
3 2044 09